

DARA

Documents
d'Archéologie
en Rhône-Alpes



L'ÉCHAFAUDAGE DANS LE CHANTIER MÉDIÉVAL

OUVRAGE COLLECTIF



Alpara

L'échafaudage dans le chantier médiéval

Anne Baud, Philippe Bernardi, Andréas Hartmann-Virnich, Éric Husson, Christian Le Barrier, Isabelle Parron-Kontis, Nicolas Reveyron et Joëlle Tardieu

DOI : 10.4000/books.alpara.1751
Éditeur : Alpara
Lieu d'édition : Lyon
Année d'édition : 1996
Date de mise en ligne : 2 juin 2016
Collection : DARA
EAN électronique : 9782916125329



<https://books.openedition.org>

Édition imprimée

EAN (Édition imprimée) : 9782906190177
Nombre de pages : 144

Référence électronique

BAUD, Anne ; et al. *L'échafaudage dans le chantier médiéval*. Nouvelle édition [en ligne]. Lyon : Alpara, 1996 (généré le 12 octobre 2022). Disponible sur Internet : <<http://books.openedition.org/alpara/1751>>. ISBN : 9782916125329. DOI : <https://doi.org/10.4000/books.alpara.1751>.

Ce document a été généré automatiquement le 12 octobre 2022. Il est issu d'une numérisation par reconnaissance optique de caractères.

© Alpara, 1996

Conditions d'utilisation :

<http://www.openedition.org/6540>

RÉSUMÉS

Pour un professionnel qui taille la pierre depuis près de quarante ans, comment ne pas être reconnaissant à ceux qui, professeurs ou archéologues, recherchent avec tant de conviction la mémoire des techniques de la construction médiévale, ces techniques presque oubliées depuis l'abandon total de la construction en pierre. Nous avons de la peine à imaginer ces époques, car nous n'avons plus sous les yeux ni les chantiers, ni l'habileté des hommes de métier. De cette industrie de la pierre, la plus longue de l'histoire humaine, la plus universelle, il ne reste presque rien, sinon la restauration des monuments historiques. C'est au tout début du siècle, avec l'invention du ciment, que disparaît presque totalement la France des carrières de pierre qui n'étaient jamais très loin du chantier.

Il n'y a pas de manière de bâtir sans le bois. Le bois est par excellence le véhicule de la pierre. Il l'accompagne jusqu'au moment où il la protège par les toits de si belles charpentes. L'utilisation du bois commence à la carrière où l'on utilise les coins éclateurs, propices au gonflement humide, les manches d'outils, les rouleaux et planches à glisser, les grues de levage. Sur le chantier, il y a le bois des cintres, des échelles sur lesquelles souvent l'on marche et bien sûr celui de l'échafaudage. On ne construit rien en hauteur sans échafaudage. Il est tellement indispensable que même les constructions les plus modernes aujourd'hui l'utilisent toujours, presque intégralement. Seuls montent sur les planches des échafaudages les bâtisseurs. C'est le théâtre de réflexion où il faut savoir comment poser les pierres ensemble et d'aplomb. Le rôle de l'échafaudage était provisoire, il laisse tout de même quelques traces en creux sur les murs et quelques inaccessibles mystères de la construction.

SOMMAIRE

Approche interdisciplinaire

Préface

Jean-Louis Charpentier

Avant-propos

Joëlle Tardieu

Introduction

Nicolas Reveyron

Chapitre 1. L'échafaudage médiéval : méthodologie et typologie

Le cadre géographique de l'étude

Les domaines de recherche

Qu'est-ce qu'un échafaudage ?

L'échafaudage au Moyen Âge

Chapitre 2. Les matériaux : nature, marchés

Les matériaux

Les marchés

Chapitre 3. Montage, ancrage et structure

Le montage au sol

L'échafaudage encastré au Moyen Âge

Les structures

Les aboutements et les ligatures

Chapitre 4. Échafaudage et iconographie médiévale du chantier

L'approche de l'image de chantier médiéval

Les représentations du XIe siècle au début du XIIIe siècle

Les représentations de la seconde moitié du XIIIe siècle à la fin du XVe siècle

Les moyens d'accès et la circulation d'après l'iconographie

Chapitre 5. L'échafaudage médiéval et le bâti

Les fonctions horizontales

Les fonctions verticales

L'échafaudage et la spécialisation des tâches

Chapitre 6. Réutilisation de l'échafaudage

Le réemploi des trous de boulin

Conclusion

Annexe

Glossaire

Bibliographie

Crédits illustrations

Approche interdisciplinaire

- 1 **Projet et coordination**
Joëlle Tardieu et Nicolas Reveyron
- 2 **Ont participé à cette réflexion**
Anne Baud (Lyon II – UMR 5648), Philippe Bernardi (CNRS - LAMM, UMR 9965), Bénédicte Bertholon (Lyon II – UMR 5648). Gérard Charpentier (Bureau d'Architecture Antique, Lyon), Frédérique- Anne Costantini (Paris X - Nanterre), José Gonçalves (tailleur de pierre, appareilleur), Mireille Goutouli (archéologie de la pierre), Andreas Hartmann- Virnich (Université de Provence - LAMM, UMR 9965), Eric Husson (Doctorant EHESS, Paris). Christian Le Barrier (AFAN), Ghislaine Macabéo (AFAN), Isabelle Parron (Lyon II – UMR 5648), Patrice Roussel (AFAN), Nicolas Reveyron (Paris IV Sorbonne - UMR 5648), Joëlle Tardieu (SRA Rhône-Alpes), Jean-Paul Ziolkowski, et Maximilien Zyckla (tailleurs de pierre, appareilleurs).
- 3 **Recherche iconographique**
La documentation photographique a été fournie par les intervenants et retenue en fonction des problématiques développées dans le texte. Les illustrations graphiques (notamment les relevés pierre à pierre) sont le fait du travail sur le terrain des différents chercheurs. L'harmonisation de ces dessins a été effectuée par Ghislaine Macabéo. La documentation iconographique a été rassemblée par Danièle Alexandre-Bidon, Anne Baud, Andreas Hartmann-Virnich, Nicolas Reveyron et Joëlle Tardieu. Nous remercions Monsieur Günther Binding de l'autorisation qu'il nous a donnée de reproduire les illustrations tirées des catalogues et articles publiés sous sa direction (voir note 37).
- 4 **Recherche bibliographique**
Elle a été réalisée à partir d'un fond proposé par G. Pierre (bibliothécaire de la Maison de l'Outil et de la Pensée ouvrière à Troyes) et enrichie de l'apport de chacun.
- 5 **Établissement du projet de fiches analytiques utilisées par les membres du programme de recherche** : Anne Baud, Isabelle Parron.



Préface

Jean-Louis Charpentier

- 1 L'échafaudage est, aujourd'hui, un ouvrage en éléments préfabriqués permettant de disposer d'espaces de travail vastes et sécurisés. En ce qui nous concerne, destiné à restaurer l'édifice il est, dans la majorité des cas, totalement indépendant du bâtiment, et au mieux, peut servir de contreventement par l'intermédiaire de vérins placés dans les baies. Corps d'état séparé, il est généralement loué, et monté par des professionnels avant d'être mis à la disposition des différents métiers intervenant sur le chantier.
- 2 On ne doit pas pour autant oublier que si, aujourd'hui, on restaure par exemple le chevet de l'église Saint-Nizier de Lyon avec ces techniques contemporaines, les échafaudages étaient en bois, lors de la précédente intervention faite dans les années soixante. Ils prenaient alors appui, dans la plupart des cas, sur les traces laissées par ceux d'origine, ou ceux des restaurations successives.
- 3 Aujourd'hui la connaissance de ces même traces, si elles ne servent plus à nos restaurations, est toutefois primordiale puisqu'elles portent témoignage de l'histoire du chantier et de la construction de l'édifice. Témoignage de la vie sociale du chantier par l'ampleur des installations. Témoignage des moyens financiers mis en place par le maître d'ouvrage que la qualité des échafaudages permet d'appréhender. Témoignage des techniques de constructions entre échafaudage et appareillage. Et enfin, témoignage du savoir-faire des constructeurs.
- 4 Un édifice offre plusieurs niveaux d'analyse suivant la distance de l'observateur. Trop souvent, par ignorance, on a méconnu le niveau de lecture le plus riche d'enseignement, à savoir celui qui consiste à déchiffrer les traces inscrites dans les maçonneries. Grâce à une collaboration mieux comprise entre les différents acteurs patrimoniaux, notamment entre le Service régional de l'archéologie et la Conservation régionale des monuments historiques, nous sommes en train de redécouvrir cette lecture faite d'indices laissés volontairement ou non par les constructeurs.
- 5 La région Rhône-Alpes a montré depuis fort longtemps un dynamisme certain dans le domaine de l'archéologie dite des élévations. A nous de poursuivre et d'amplifier ce mouvement tant les connaissances qui en découlent sont riches d'enseignement.

AUTEUR

JEAN-LOUIS CHARPENTIER

Conservateur régional des monuments historiques

Avant-propos

Joëlle Tardieu

- 1 En 1983, la recherche archéologique a repris sur le site de l'ancienne église abbatiale de Cruas dont la particularité était de pouvoir associer la fouille des vestiges conservés dans la nef à l'étude des élévations qui se sont révélées, au cours de la restauration, parfaitement conservées. L'édifice n'avait été jusqu'ici étudié que par des historiens de l'art. Ainsi, l'église abbatiale avait-elle trop souvent été datée à partir du décor archaïsant de sa crypte et de celui, encore fruste, de la tribune, par comparaison avec la sculpture de la travée occidentale. Or, l'étude a prouvé que lorsque les travaux sont réalisés, une crypte de type lombard est installée alors que le plan présente une ordonnance classique à trois nefs, transept saillant, chevet trilobé et arcs à doubles rouleaux.
- 2 Ce n'était pas la première fois que l'on observait que l'étude stylistique de la sculpture amène à des contradictions sur les monuments et leurs chronologies. L'analyse menée à propos du groupe cathédral Saint-Sauveur d'Aix-en-Provence par Rollins Guild en 1981 (Guild 1987), à laquelle j'avais participé, apporta une méthode architecturale nouvelle. Paul-Albert Février, qui fut l'un de mes professeurs, nous a inculqué, dans ses travaux et dans son enseignement, une grande méfiance vis-à-vis des études existantes qui souvent reposent sur des interprétations erronées des textes.
- 3 Ainsi en 1987, l'église abbatiale de Cruas devant être totalement échafaudée, j'ai proposé un projet portant sur l'étude des élévations, avec l'appui de Jacques Lasfargues, alors Directeur des Antiquités Historiques de Rhône-Alpes. Le but de cette nouvelle démarche consistait à étudier le bâti à partir des problèmes d'architecture et de construction et non plus à partir de la sculpture.
- 4 Parallèlement, ma fonction au sein de la Direction des antiquités historiques, puis du Service régional de l'archéologie, consistait alors à coordonner, en lien avec la Conservation régionale des monuments historiques, les nombreuses interventions sur les monuments protégés, et d'en assurer le suivi archéologique. La cohabitation sur les chantiers, et sur les échafaudages, a favorisé des contacts et des échanges avec les gens de métier et les entreprises de restauration. Ceux-ci ont permis d'aborder, de chantier en chantier, la construction antique et médiévale sous un aspect plus concret, qui, peu à peu, a donné vie à la construction elle-même. Il est alors devenu de plus en plus

évident que l'architecture, est aussi un matériau : ses choix, ses modes de façonnage et de mise en œuvre vont principalement expliquer le statut du bâtiment. A travers l'architecture, c'est l'homme, l'artisan de la pierre architecturale qu'il nous fallait retrouver. Cet artisanat est à étudier à travers l'archéologie, les textes, l'iconographie, les savoir-faire et les outils.

- 5 Ces expériences ont développé l'archéologie des élévations en Rhône-Alpes, notamment en étroite collaboration avec l'Université de Lyon II, et l'équipe de l'ERA 26 (aujourd'hui UMR 5648) sous la direction de Jean-François Reynaud. Ainsi en 1989-1991, une importante opération fut menée sur le chevet de la cathédrale Saint-Jean de Lyon, sous la direction de Nicolas Reveyron, qui préparait une thèse sur cet édifice.
- 6 J'envisageai alors, afin de rassembler toutes les données éparses que livrait le suivi de ces chantiers, de constituer un groupe de travail sur le thème du "chantier de construction à l'époque médiévale." La réflexion fut d'abord informelle. Ma propre recherche fut, et dans un premier temps, axée sur la constitution d'une bibliographie, qui se voulait la plus exhaustive sur les questions de carrière, de taille de la pierre, de mise en œuvre, de chantier, et sur la réalisation d'un glossaire concernant les termes employés sur les chantiers afin d'homogénéiser les descriptions et les indications données par les gens de métier.
- 7 En 1993, j'ai pris l'initiative d'un premier projet collectif de recherche portant sur "la taille de pierre et la mise en œuvre : le chantier de construction à l'époque médiévale (XIe-XVe s.) " qui a été soumis au Conseil supérieur de la recherche archéologique. Nous envisagions alors d'étudier le chantier médiéval dans une vaste extension, incluant des zones et des activités périphériques (notamment le chantier dans le cadre urbain : le transport et le déchargement (batellerie du Rhône...), l'approvisionnement et les carrières, les aspects ethnographiques (recherches et études de documents portant sur les métiers de la pierre...), les restaurations antérieures... Après examen, ce dossier avait reçu un avis favorable sous réserve que le sujet, jugé trop vaste, soit redéfini. Après réflexions et consultations de personnalités scientifiques extérieures à l'équipe, et devant l'ampleur des résultats de nos premiers travaux, nous avons décidé de resserrer le sujet et de le recentrer autour de la mise en œuvre de la pierre, c'est-à-dire des activités directement liées à l'érection du bâti : terrassements et fondations, échafaudage, bardage des blocs, taille de pierre et stéréotomie*, marques lapidaires...
- 8 La réflexion des deux premières années a été consacrée à l'étude des échafaudages, car c'est leur implantation qui régit les temps de construction et qui permet l'approche de la mise en œuvre et du choix des appareillages. Ce sont les premiers résultats de ce travail collectif qui sont proposés ici.
- 9 Pour les années 1995-1997, le projet collectif de recherche est devenu pluri-annuel. Un nouvel aspect de cette réflexion est aujourd'hui en cours : "Les installations de chantier" et "Les techniques de fondation" s'avèrent être une autre façon originale d'aborder la construction elle-même.
- 10 Nous ne sommes, bien sûr, ni les premiers, ni les derniers à nous intéresser à ce sujet. La spécificité de notre groupe fut d'avoir pu, sur ce thème, fédérer des projets et des personnes d'horizons fort différents.
- 11 L'équipe de base, rassemblée autour de Nicolas Reveyron et de moi-même, était constituée de chercheurs de Rhône-Alpes, tous archéologues, qui ont une longue

habitude du travail en commun : Anne Baud, Bénédicte Bertholon, Christian Le Barrier, Ghislaine Macabéo et Isabelle Parron.

- 12 Cependant, des liens établis, souvent de longue date, avec des chercheurs de régions limitrophes, ont permis d'élargir la réflexion à la Bourgogne et la Provence-Alpes-Côte d'Azur. Pour sa part, Andreas Hartmann-Virnich nous a fait bénéficier de ses études archéologiques d'édifices provençaux et a développé, à cette occasion, une réflexion sur l'iconographie de l'échafaudage médiéval (ch. 4). Philippe Bernardi et Eric Husson, à partir de leurs travaux, ont donné à cette recherche sa dimension historique (ch. 2). Et enfin, Mireille Goutouli dont les recherches portent sur l'architecture antique a contribué à faire la part de l'héritage antique dans les techniques médiévales. Ces études ont bénéficié de la fabuleuse documentation iconographique mise à notre disposition par Danièle Alexandre-Bidon.
- 13 Ce projet collectif de recherche s'est associé au groupe de recherche "Société et cadre de vie au Moyen Âge" (groupe 10) sur "les matériaux de construction et leur mise en œuvre" qui a commencé ses travaux en juin 1994, sous la direction d'Yves Esquieu et de Christian Sapin.
- 14 La réflexion a été menée personnellement par les différents membres de l'équipe : chacun d'entre nous a rédigé une notice faisant le point sur l'état de ses connaissances. Ces notices se présentent sous forme de monographies. Diffusées aux différents participants, elles ont fourni la matière première de la recherche et ont servi de fond à la rédaction de la synthèse réalisée par les coordonnateurs. Leurs auteurs en conservent l'exclusivité et restent libres de les publier dans d'autres circonstances. Des éléments chiffrés en ont été extraits afin d'alimenter des fiches métrées, dont seule celle se rapportant à l'abbatiale de Cluny est ici proposée en annexe.
- 15 L'ensemble que nous proposons ici a été rendu possible grâce à ces monographies, elles ont mis en évidence des phénomènes et des procédés si proches d'un chantier à l'autre qu'ils ne pouvaient qu'attester des pratiques identiques.
- 16 L'ensemble du programme a bénéficié du soutien financier de la Direction régionale des affaires culturelles en Rhône-Alpes (crédits d'étude), et du Service régional de l'archéologie (crédits de recherche).
- 17 La confrontation de l'ensemble de cette documentation apporte une multitude de renseignements, et ouvre un spectre d'analyse très large. Cette identité, nous la revendiquons comme une signature intellectuelle car c'est dans l'échange des connaissances, dans la multiplicité des approches qu'il devient possible d'aborder la réalité historique d'un sujet particulièrement délicat à traiter. Qu'il nous soit permis d'exprimer, à cette occasion, nos plus vifs remerciements à ceux qui ont donné de leur temps et de leur savoir en nous accompagnant dans notre recherche : Gérard Charpentier et Richard Goulois, architectes ; José Gonçalves, Jean-Paul Ziolkowski, et Maximilien Zyckla, tailleurs de pierre-appareilleurs et les échafaudeurs.

1 – Monastère copte de Saint-Antoine-du-Désert (Egypte), échafaudage d'un chantier de restauration (avril 1996)



Introduction

Nicolas Reveyron

- 1 Les chercheurs et le grand public portent aujourd'hui un intérêt grandissant aux aspects techniques de la création artistique. D'importantes manifestations comme le colloque international tenu à Rennes en 1983 sur les *Artistes, artisans et production artistique au Moyen Âge* (Barrai I Altet 1983, 1987, 1990), les expositions dont *Les bâtisseurs des cathédrales gothiques* présentée à Strasbourg en 1989, celle consacrée aux *Ingénieurs de la Renaissance, de Brunelleschi à Léonard de Vinci*, à la cité des Sciences et de l'Industrie de Paris (Galluzzi 1995) et enfin celle présentée au musée de Brou (Ain) (1996), *Les Bâtisseurs du XVIe s.*, montrent combien importe l'invention technique dans l'apparition et l'évolution d'un style, et en quoi ces deux domaines restent indissolublement liés. La forme d'un outil, le niveau des sciences exactes, l'état des structures sociales, etc., n'expliquent pas à eux seuls un style, mais ils participent à sa genèse.
- 2 Pour bien comprendre les enjeux et les tendances de la création architecturale au Moyen Âge, il est nécessaire de mieux connaître l'organisation humaine et matérielle du chantier de construction. Dans le champ très ouvert des techniques et des connaissances propres à l'art de bâtir (taille de pierre, stéréotomie techniques de fabrication du mortier, géométrie appliquée,...), les modes d'*échafaudement** forment un vaste domaine, encore peu exploré dans sa réalité concrète. Il possède pourtant son intérêt propre : parce que l'échafaudage médiéval appartient pleinement au chantier et que sa forme même procède directement des choix architecturaux et architectoniques, la connaissance que l'on peut en avoir déborde largement cet objet de recherche ; elle rejaille sur l'histoire des techniques, des matériaux, de l'économie, de l'art, pour ne prendre que les applications les plus évidentes. Il est vrai que certains aspects de la question n'ont pas manqué d'intéresser des historiens et des iconographes. Le sujet a été abordé essentiellement sur le plan théorique : les manuels spécifiques en montrent des reproductions, parfois des restitutions (Viollet-le-Duc 1854-1868), mais ne traitent pas vraiment ce thème, sinon dans son aspect iconographique (Gimpel 1969, Du Colombier 1973, Coldstream 1991, Binding 1993). D'autre part, les approches ont été souvent orientées par la personnalité du chercheur : Viollet-le-Duc, par exemple, étudie l'échafaudage médiéval en rationaliste du XIXe s. (article *échafaud*, pp. 103-114).

L'architecte qu'il est reste fasciné par la complexité de certains montages, dont il a imaginé la structure à partir des traces laissées dans le monument. Mais de tels montages, hypothétiques et très sophistiqués, sont de véritables morceaux de bravoure, proches d'un chef-d'oeuvre, plutôt que des exemples représentatifs de l'*échafaudement* médiéval.

- 3 Ce rapide état de la question justifie déjà largement des projets de recherche qui mériteraient d'être conduits le plus loin possible, et dans toutes les directions susceptibles de diversifier et d'affiner cette connaissance. Mais ce ne sont pas là les seules raisons qui ont suscité la réunion d'une équipe de recherche sur ce sujet. Depuis une décennie, environ, un vaste mouvement de restauration des monuments historiques a intelligemment associé l'archéologie médiévale régionale à sa démarche et lui a ouvert de nouveaux champs d'action. En Rhône-Alpes, une étroite collaboration entre la Conservation régionale des monuments historiques, le Service régional de l'archéologie et les chercheurs universitaires a autorisé un développement conséquent de l'archéologie dite d'élévation. Cette nouvelle voie de recherche se développe dans un véritable « bouillonnement culturel » : le chantier de restauration n'est pas très éloigné du chantier médiéval ; il est un moment de restitution et de création ; il est aussi un lieu où se mêlent, dans le travail quotidien, des hommes aussi différents que des maçons, des architectes, des tailleurs de pierre, des chercheurs, des échafaudiers,... L'occasion est inespérée pour échanger les connaissances et en mesurer *in vivo* les applications.

Chapitre 1. L'échafaudage médiéval : méthodologie et typologie

- 1 L'aire géographique de l'étude s'est tout naturellement définie en fonction de nos interventions lors de restaurations effectuées par les Conservations régionales des monuments historiques dans les régions Rhône-Alpes, Provence-Côte d'Azur et Bourgogne. Cette délimitation géographique, certes arbitraire, est en définitive, un atout pour cette recherche, et cela pour plusieurs raisons.

Le cadre géographique de l'étude

- 2 Ce cadre élargi a permis d'échapper à un régionalisme restrictif, en étendant la recherche à des entités territoriales d'origines historiques très diverses. Ces régions sont, par ailleurs, constituées d'ensembles géographiques représentatifs : grandes vallées ou zones montagneuses. Cette géographie contrastée offre la possibilité d'étudier des phénomènes contextuels très divers : relation entre construction et géologie locale ; conservatisme ou, au contraire, modes de transmission liés aux grandes voies de circulation ; expansion des ordres monastiques... Enfin, la diversité monumentale offerte par cette aire géographique permet d'apprécier le chantier médiéval dans la complexité de son organisation humaine : la construction au quotidien en milieu urbain, rendue si vivante par la lecture des comptes de construction ; les chantiers de prestige et leur technologie de pointe, comme par exemple une cathédrale et à l'opposé les petits programmes vernaculaires, où se rencontrent le souci de l'économie et le désir d'imitation.
- 3 Il va sans dire que cette recherche s'est nourrie aussi d'apports extérieurs. Il aurait été regrettable qu'une définition trop rigoureuse ampute nos recherches d'exemples proches ou lointains souvent très représentatifs : ainsi, des constatations faites lors de voyages d'étude (Italie, Ouest de la France, notamment) ont été l'occasion de confronter nos résultats.

Les domaines de recherche

Les textes et la documentation écrite

- 4 « Assemblage de pièces de bois formant un plancher élevé... » ; Littré (Littré 1863-1873) définissait ainsi le premier sens du mot *échafaud*. C'est bien comme un assemblage, une réunion de pièces diverses formant un tout, qu'apparaît l'échafaudage à travers le filtre des sources écrites médiévales. Les sondages effectués dans quelques fonds d'archives et les principaux dictionnaires de latin, de français ou de provençal médiéval montrent que, d'un côté nous avons l'ouvrage lui-même, désigné par des termes au sens relativement large comme : étagères (*stagia, stageria*), corridor (*ambulatorium, allorium, alear, alour....*), estrade (*chaffaut, eschaffaut....*)¹. De l'autre, sont énoncés les divers éléments constitutifs de l'ouvrage (poutrelles, planches, cordes...).
- 5 La structure n'est pas clairement caractérisée et c'est par le contexte que l'on distingue l'échafaudage d'autres constructions en bois, plus ou moins provisoires, offrant une surface de travail ou de circulation. Mais cette dénomination évasive est en soi une information si l'on tient compte du fait qu'elle reflète, au moins en partie, la perception qu'en avaient les contemporains². L'idée qui se dégage de ces appellations est que l'échafaudage ne se présentait pas comme une technique isolée, mais comme l'adaptation ponctuelle, aux besoins du bâtiment, de pratiques - celles liées à la confection de structures légères en bois - dont le domaine d'application était beaucoup plus étendu. Nous verrons que la même absence de caractérisation transparait dans l'étude des matériaux.
- 6 Il faut se garder toutefois d'en tirer des conclusions qualitatives, car la polyvalence de l'échafauteur - qualifié en Provence de charpentier (*fusterius*) - ne met a priori pas en cause la spécificité de certains des gestes accomplis sur le chantier³.
- 7 Dans le cadre de ce travail pluridisciplinaire, il nous a paru possible d'isoler la partie du tout, et de traiter des seuls échafaudages. Le peu d'éléments dont nous disposons pour le moment sur les autres types « d'échafauds » aurait, du reste, plus contribué à multiplier les interrogations qu'à éclairer notre propos. Nous demeurons cependant persuadés qu'à plus long terme seul un traitement d'ensemble de ces structures de bois sera à même de répondre à quelques-unes des questions laissées en suspens par la présente étude.
- 8 Nous avons jusque-là fait état de « sources écrites », tâchons maintenant d'en préciser la nature. Si les mentions les plus anciennes sont tirées de textes littéraires qui évoquent incidemment des échafaudages, l'essentiel de la documentation écrite provient de registres de comptes et de contrats de construction. Les premiers consignent, par poste et/ou chronologiquement, les dépenses faites dans le cadre d'un chantier, généralement important (église, fortifications, château...). Les seconds - les contrats de construction - sont des actes, habituellement passés devant notaire, qui concernent pour la plupart des bâtiments privés, mais peuvent aussi avoir pour objet de grands édifices religieux, civils ou militaires. Ces textes nous renseignent sur les pratiques en vigueur à la fin du Moyen Âge, à partir du XIIIe s. et surtout aux XIVE - XVe s. De nature juridique ou comptable, ils font souvent montre d'un certain laconisme dans la désignation des travaux qui nous intéressent. C'est, la plupart du temps, simplement « *pro stagiis faciendis* » qu'étaient engagés les échafauteurs. Et si les divers paiements permettent de retrouver les matériaux utilisés, la destination et la

nature exacte de ces derniers n'étaient que rarement notées. Les exigences particulières exprimées dans les contrats ne portaient, elles, qu'exceptionnellement sur des points techniques - laissés à l'appréciation d'experts et à la responsabilité du constructeur. En revanche, les questions d'approvisionnement étaient au cœur des préoccupations des rédacteurs.

- 9 Il n'est jamais exclu de découvrir une description détaillée qui apporte un éclairage nouveau sur les pratiques médiévales, mais les textes évoquent surtout ce que l'on peut appeler l'aspect matériel de l'échafaudage (matériaux et coût). En cela, les sources écrites complètent opportunément les études d'élévation et les données iconographiques ; elles concourent à préciser l'image de ce type de structure en dépassant largement la simple question de l'approvisionnement.

Les recherches archéologiques

- 10 L'archéologie d'élévation a pour domaine propre l'étude du bâti. Elle n'aborde l'échafaudage qu'à travers les traces qu'il a laissées dans les parements intérieurs ou extérieurs du monument. L'approche étant trop générale, il a fallu bâtir un cadre de recherche s'appuyant sur une méthodologie spécifique.
- 11 La complexité du phénomène est telle qu'elle résiste toujours aux généralisations. Ainsi en avons-nous tiré trois enseignements.
- 12 Premièrement, les données monumentales sont extrêmement diverses. Elles appartiennent à des domaines qu'on n'associe pas d'emblée à l'échafaudement. Le champ d'étude ne doit donc pas se limiter aux seuls trous de boulin, mais il faut intégrer tout ce qui le concerne dans la maçonnerie.
- 13 Deuxièmement, contrairement à notre époque, il n'existe pas pour le Moyen Âge un type défini d'échafaudage. Nous rencontrons des systèmes assez réguliers, semblables dans leur aspect général, mais très diversifiés dans le détail de l'organisation ; leur élaboration répond de fait à trois données majeures. D'une part, les exigences physiques, qui sont universelles ; d'autre part, le caractère empirique de la mise en œuvre, dans laquelle l'aspect proprement culturel des savoir-faire locaux joue un rôle non négligeable ; et enfin, un souci constant d'adaptation aux réalités économiques et à l'évolution du projet architectural.
- 14 Troisièmement, il s'est vite avéré illusoire d'aborder cette recherche sans mettre préalablement au point des instruments de réflexion, tirés de l'expérience de chantier ; et dans ce domaine, particulièrement, la collaboration des hommes de terrain s'est révélée irremplaçable. D'une part, la faible étendue d'un vocabulaire spécifique nous a parfois mis dans l'obligation de redéfinir une terminologie mieux adaptée à notre recherche. D'autre part, des fiches analytiques ont été élaborées par bâtiment étudié : elles facilitent le recoupement des données qui sont particulièrement diversifiées, compte tenu de la nature des édifices eux-mêmes et du degré de fiabilité de l'étude archéologique dont ils ont fait l'objet.

L'iconographie

- 15 Une étude d'ensemble des très nombreuses représentations de chantier dans l'art médiéval pose des problèmes d'approche particulièrement complexes. D'une part, le matériel est très hétérogène. Les exemples choisis proviennent d'aires géographiques

très différentes, et couvrent une période très vaste (Xe - XVIe s.). Ils appartiennent aux différents domaines de la production artistique de leur temps (mosaïque, peinture, enluminure, sculpture, orfèvrerie...), dont chacun dépend de traditions qui ont leurs modes de transmission propres. Ceux-ci influent sur le poids d'un passé iconographique qui diffère non seulement d'un thème à l'autre, mais aussi en fonction de la nature du support qui peut considérablement réduire les possibilités de représenter une installation de chantier aussi complexe que l'échafaudage.

- 16 Qui plus est, le développement de la représentation d'un espace dans l'image a une influence décisive sur la précision avec laquelle l'échafaudage est figuré dans son rapport avec le bâti. Aussi, la représentation de l'échafaudage évolue-t-elle beaucoup plus que celle de l'outillage et des personnages qui figurent les différentes opérations du chantier. Si l'étonnante précision qui distingue certaines images d'échafaudages du XVe s. va en effet de pair avec le perfectionnement de la perspective de l'espace pictural, il serait aussi dangereux de juger les images plus anciennes selon les mêmes critères, que de surévaluer l'iconographie du XVe s. comme le reflet fidèle d'une évolution exceptionnelle des pratiques du chantier contemporain.
- 17 Il nous a donc paru indispensable d'étudier les représentations en fonction de leur époque, et de tenter de préciser leur fiabilité, en faisant la part des détails de l'assemblage de l'échafaudage et, celle de la composition de l'ensemble dans l'image.
- 18 Dans notre approche, l'interprétation des images ne peut être dissociée de l'étude des textes et des données archéologiques. L'analyse de l'échafaudage à partir des trous de perche et de piquet dans les sols de chantier, et des trous de boulin des élévations, serait impossible sans l'apport des images qui esquissent, ou précisent, la forme et l'organisation des matériaux composant l'échafaudage médiéval. Il en va de même pour les textes qui confirment la nature de ces matériaux, et qui guident la recherche, plus générale, des conditions économiques du chantier. Quant aux sources iconographiques, une évaluation de leur rapport avec les pratiques de leur époque exige au préalable une connaissance des réalités du chantier, telles qu'elles sont reflétées par les monuments et les textes.
- 19 Dans ce contexte, l'étude iconographique apporte des renseignements essentiels. Ce sont les images qui attestent l'existence de plusieurs types d'échafaudage, et permettent d'esquisser une typologie qui, confrontée aux données archéologiques, est un outil indispensable pour circonscrire le champ d'investigation. Bien des aspects de la répartition et de l'organisation des trous de boulin dans une élévation resteraient en effet énigmatiques sans l'apport des images d'échafaudages encastrés de pied, qui précisent la longueur relative des perches, la pratique de l'aboutement, la position des boulins par rapport aux articulations de l'architecture, la composition des platelages de planches ou de claies, et les possibilités de circulation, de stationnement et de dépôt. D'autre part, l'iconographie et les textes restent pratiquement les seules sources pour la restitution d'autres éléments, comme les ligatures, les échelles et rampes, les engins de levage, et les différentes formes d'échafaudages non encastrés qui ne laissent pas de trace sur le bâtiment.

Les investigations ethnographiques

- 20 La mise au point des techniques archéologiques d'investigation pour l'analyse des traces sur les échafaudages médiévaux a bénéficié, on l'a vu, de la collaboration de la

Conservation régionale des monuments historiques, du Service régional de l'archéologie, des Architectes en chef des monuments historiques, ainsi que des acteurs du chantier. Les échanges avec les professionnels du bâtiment se sont révélés d'une très grande richesse. La formation théorique et pratique de certains membres de l'équipe, dans des domaines aussi divers que la chimie des mortiers, la physique de la construction, la taille de pierre, le travail du bois, la charpenterie, les travaux publics, etc. a été d'un secours inestimable, quand il s'est agi d'apprécier la vraisemblance de certaines hypothèses, la faisabilité de leur réalisation, que ce soit à notre époque ou au Moyen Âge.

- 21 La diversité des expériences et des études, le hasard qui nous a fait rencontrer des maçons, des conducteurs de travaux qui avaient eux-mêmes monté des échafaudages en bois, la découverte, auprès des maçons et des tailleurs de pierre des contraintes réciproques exercées par l'échafaudage et la construction, tout cela a constitué, en définitive, une approche anthropologique des différents problèmes. Cette dernière possède naturellement une dimension historique : l'apport des hommes de métier nous a permis de confronter au savoir-faire actuel les données de l'archéologie, de l'iconographie et des textes ; il a été alors possible d'étendre le champ général de références, de l'antiquité au début du XXe s., et de dégager des pérennités et des variantes. De cette approche anthropologique, il est ressorti que les techniques ont perduré sans grande modification, et il s'est avéré au cours du travail que toute approche strictement chronologique demeurerait encore aléatoire.
- 22 Dans les chantiers de restauration, nous avons partagé avec les professionnels une même curiosité pour les savoir-faire anciens. Celle-ci a poussé certains à tenter de retrouver par la pratique et dans leur art les techniques médiévales. C'est la même curiosité qui a fait enregistrer à d'autres une foule de souvenirs de l'époque, en définitive proche, où l'on montait encore des échafaudages de bois (ce fut le cas encore pour le chevet de Saint-Nizier, à Lyon, dans les années soixante). L'étendue des connaissances encore vivantes a poussé certains membres de l'équipe à enregistrer les témoignages de personnes plus âgées, aujourd'hui à la retraite ; ceux-ci sont d'autant plus précieux que, par le jeu des transmissions orales, ils font revivre des connaissances très anciennes, antérieures à la première guerre mondiale laquelle, on le sait, a marqué une rupture souvent définitive dans la pérennité de savoir-faire qui ont fini par se perdre. Toutes ces données peuvent être utilement confrontées non seulement à celles de l'archéologie, de l'iconographie et des textes, mais aussi à l'enseignement de ce conservatoire des techniques anciennes que sont le compagnonnage, et les écoles de taille de pierre. Dans la même visée, certains chercheurs de l'équipe se sont attachés à recueillir les termes de métiers, utilisés couramment sur les chantiers actuels. La diversité géographique des professionnels de la restauration et leur mobilité nous a permis d'accéder à un vocabulaire riche dans ses variantes régionales, qui éclaire à sa façon notre recherche, et la rend plus précise.

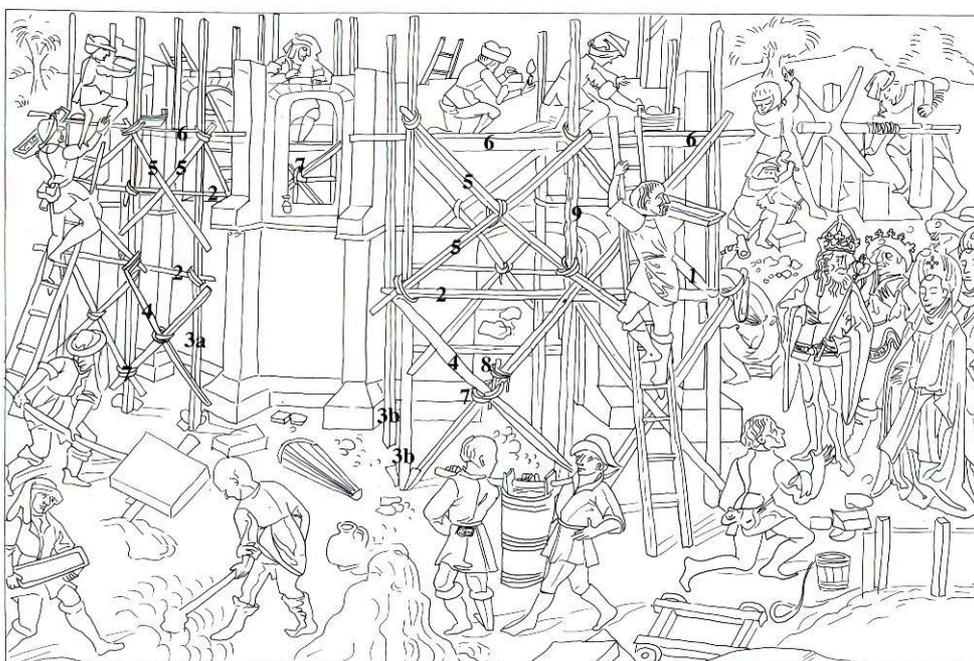
Qu'est-ce qu'un échafaudage ?

- 23 « Dans l'art de bâtir, on entend par *échafaud*, l'oeuvre de charpente provisoire établie pour permettre d'élever des maçonneries » (Viollet-le-Duc 1854, p. 103). Si au Moyen Âge on construisait à l'aide d'échafaudages de bois, aujourd'hui on répare ces mêmes édifices avec des structures tubulaires en acier et aluminium standardisées. Ainsi pour

accéder aux vestiges des échafaudages anciens, c'est un échafaudage moderne que l'on utilise.

- 24 Les matériaux ont changé depuis le Moyen Âge, ainsi que les structures, les éléments, et les modes de montage. Les impératifs de sécurité et de circulation, les normes de résistance des éléments, et les charges admissibles ont également évolué. Malgré tout, des constantes persistent, permettant d'aborder la connaissance pratique des échafauds médiévaux. L'expérience contemporaine, c'est-à-dire la mise en oeuvre et les utilisations de l'échafaudage tubulaire, est à ce titre révélatrice ; nous l'avons abordée à partir des « *notices et conseils de montage* » de l'entreprise Layher (Layher sd), et des conseils de sécurité édités par l'Organisme Professionnel de Prévention du Bâtiment et des Travaux Publics (OPPBTBTP). Nous proposons donc une convention terminologique qui servira de base à l'ensemble de l'étude (**fig 2**), et un glossaire en fin de volume.

2 – Structure et éléments d'un échafaudage



D'après une enluminure de Jean Tavernier. *Croniques et conquestes de Charlemaine*
Bruxelles, Bibl. Royale, Ms 9068, f° 289

La structure et les éléments

- 25 **1- Un boulin** : pièce de bois horizontale fixée sur la perche et/ou encastrée dans la maçonnerie pour échafauder, et maintenue à l'autre extrémité par des pièces de bois verticales (perches, échasses). Il est disposé au même niveau que les moises pour supporter le plan de travail (Ginouvés 1985, p. 117). L'écartement entre les boulins doit être en rapport avec les charges supportées et la nature du platelage, en sachant que le bois travaille aisément à la compression, mais mal à la flexion. Les moises, longerons, longrines ou filières relient entre eux les montants d'une même rangée et soutiennent les boulins.
- 26 **2- Une moise (lisse, longeron, longrine, tendière, traverse,..)**: forte pièce longitudinale, courant parallèlement à la construction pour relier entre elles les

perches d'une même rangée (Ginouvés 1985, p. 117, Inventaire Général 1972, col. 74, 79, 259), soutient les boulins et assure la répartition indispensable des charges.

- 27 **3- Une perche (baliveaux, écopernes, échasses, montants, pointiers, poteaux,...)** : pièce maîtresse verticale (Inventaire Général 1972, col. 74), fixée au sol.
- 28 **3a : échafaudage de pied à un rang de perches de type encastré** : « les éléments transversaux s'enfoncent dans la construction » (Ginouvés 1985, p.1 17), utilisant des trous de boulin aménagés dans les parements ce qui permet aujourd'hui de les lire en négatif sur les élévations conservées.
- 29 **3b : échafaudage de pied à deux rangées de perches** : l'assemblage est dressé indépendamment du mur. Il utilise deux perches « plantées deux à deux, une proche de la construction, l'autre sur la même perpendiculaire à la face du mur, mais à une certaine distance, de manière à aménager entre elles la largeur du plan de travail » (Ginouvés 1985, p. 117).
- 30 **4- Un contreventement** : ensemble des dispositifs adoptés pour qu'un ouvrage résiste aux efforts horizontaux (vent ou poussée des terres....) (Fonquernie 1989, p. 160). Dans un échafaudage, cet « assemblage de pièces diagonales, normalement de sens contrarié, est destiné à assurer la rigidité et la stabilité de l'ossature, et à la garantir des déformations du système perches-moises » (Ginouvés 1985, p. 117). Il est donc formé de pièces secondaires, qui ne composent pas directement la structure et, de ce fait, ne participent pas proprement à ses fonctions, mais mises en place uniquement pour la renforcer. Il est constitué de petits liens disposés obliquement entre les montants verticaux.
- 31 **5- Un étréssillon (traverse, écarteur)** : pièce de bois secondaire assemblée entre deux autres pièces (perches), destinée à empêcher ces deux parties de se rapprocher (Viollet-Le-Duc 1854, vol. 5, p. 346 et Inventaire Général 1972, col. 77). A la différence de l'étau, un étréssillon (partie du contreventement) dans un échafaudage reprend des charges déjà en place pour les redistribuer.
- 32 **6- Un platelage (plats-bords, plateau, plancher)** : surface de circulation et de travail constituée par l'assemblage de plusieurs planches ou claies posées sur les boulins et sur les moises. Il faut avant tout prévenir leur soulèvement et assurer leur continuité. La pose d'une plinthe empêche un homme de glisser, et les outils de tomber à l'étage inférieur ou sur le sol ; elle s'accompagne de lisse et sous-lisse (garde-corps).
- 33 **7- Une ligature** : attaches servant à fixer entre elles deux pièces différentes. « Dans un échafaudage, les entures verticales doivent être réalisées au moyen de deux ligatures, mode d'attache des cordages distincts, espacées au minimum de 0,50 m » (Chabat 1875, p. 785, Emy 1841).
- 34 **8- Un gaston** : bâton servant à serrer les nœuds (cf. aussi chap. 3, les nœuds).
- 35 **9- grume** : (bois de grume ou en grume) bois coupé qui a conservé son écorce.

L'échafaudage de bois

- 36 Aujourd'hui, on utilise l'échafaudage dit de pied à deux rangées de perches, qui se monte indépendamment de la façade. Mais dans les années 1960/70, on mettait encore en œuvre des échafaudages de bois, et pour les restaurations de monuments anciens on a longtemps utilisé ceux de type encastré à une rangée de perches. Des hommes du

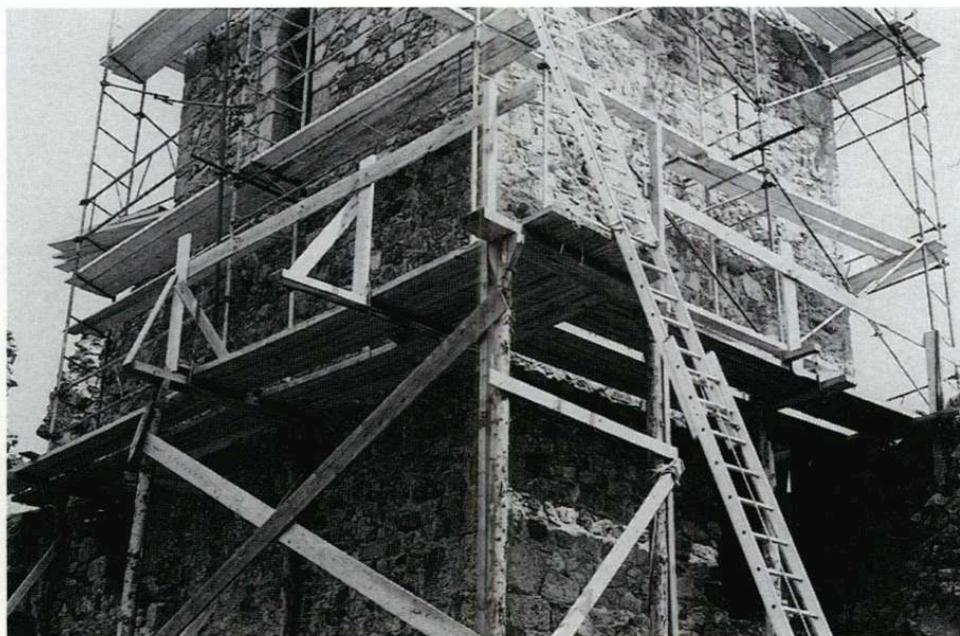
métier nous ont fait part de leur expérience, que l'on a pu comparer avec des études spécifiques réalisées à partir de textes du bas Moyen Âge (fig. 3).

Montage d'un échafaudage en bois dans les années soixante

Les montants

Dressez les montants dans le même alignement et bien d'aplomb. Aidez-vous pour cela du cordeau et du fil à plomb. Si vous n'avez pas pris cette précaution, il sera ensuite impossible de rattraper l'alignement et l'aplomb de l'échafaudage qui risquera de verser, même sous une charge normale. S'il s'agit d'un échafaudage comportant une seule rangée de montants, inclinez-les légèrement vers le mur. Si l'échafaudage comporte deux rangées de montants, la file qui se trouve le plus près de la construction doit être installée de façon telle que le plancher de service ne se trouve pas éloigné du mur de plus de 0,20 m. Les pieds des montants en bois doivent être enfouis dans le sol à une profondeur de 0,60 m, ou disposés sur un sol dur et garnis de sabots en plâtre.

3- Château d'Urfé à Champoly (42)



Échafaudage de bois monté par H. Faure (1994-1995) lors de la restauration du château

Disposez un montant à l'intersection des longerons de deux échafaudages qui se rejoignent à l'angle d'un bâtiment, sinon les planchers seront en porte-à-faux. Evitez de prolonger tous les montants à la même hauteur, et disposez-les en quinconce.

Avec des bois en grume, les entures* verticales doivent être réalisées au moyen de deux ligatures distinctes, espacées au minimum de 0,50 m, les cordages faisant au moins huit fois le tour des bois. Les entures verticales bien faites ont une force portante égale à la charge de rupture du cordage employé.

Les longerons

Les longerons, longrines ou filières, relient entre eux les montants d'une même rangée et soutiennent, en principe les boulins.

Ils doivent être fixés aux montants, à l'intérieur de l'échafaudage, afin de diminuer la portée des boulins. Vérifiez à l'aide d'un niveau que ces longerons, longrines ou filières soient bien posés à l'horizontale.

Les assemblages des longerons ou des boulins aux montants en grume sont réalisés avec des cordages passés en cinq tours jointifs au moins, bien serrés autour de chaque pièce. Afin de travailler avec une marge de sécurité suffisante, ne faites pas supporter à un tel brêlage* une charge supérieure à la charge de rupture du cordage. Veillez à serrer tous les brins, en exécutant le brêlage ; veillez également à ce que les pièces de bois portent bien l'une sur l'autre. La jonction de deux longerons doit se faire exclusivement au droit d'un montant, de manière que les entures ne travaillent pas à la flexion. L'enture doit être exécutée de la même manière que celle des montants.

Si la portée du longeron dépasse 2 m, soutenez-le aux deux extrémités par des contrefiches prenant appui sur les montants.

Les boulins

L'écartement des boulins doit être en rapport avec les charges supportées et la nature du plancher utilisé. Conformez-vous pour cela aux indications données par votre chef de chantier. Pour les boulins en bois, choisir de préférence du chêne, du châtaignier ou du sapin.

Il faut les fixer autant que possible aux montants, ou sur les longerons, le plus près possible des montants, soit par des chaînes (**fig. 4**), cloches ou autres dispositifs, ou brêlages.

Lorsque l'échafaudage ne comporte qu'une seule rangée de montants, les boulins doivent être fixés au gros-oeuvre.

Le scellement doit pouvoir supporter une charge de plusieurs centaines de kilos. La profondeur minimum de l'encastrement (0,10 m), doit être prise dans la maçonnerie proprement dite.

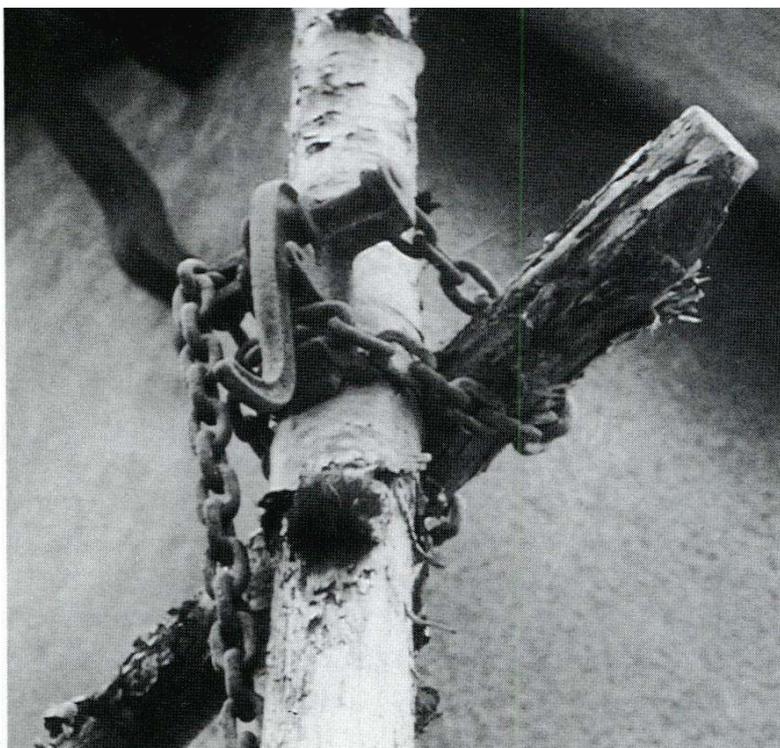
Les boulins doivent être scellés dans l'encastrement afin de lier l'échafaudage à la construction.

Il doit également y avoir une épaisseur de maçonnerie suffisante sous le boulin : ne l'encastrez pas dans un linteau, surtout si celui-ci est en maçonnerie. Si un boulin se trouve en face d'une baie, on l'attache à une pièce de bois ou à un tube étré sillonnés, soit entre la pièce d'appui et le linteau, soit en tableaux, ou encore à un longeron fixé aux boulins, eux-mêmes scellés de part et d'autre de la baie.

Il ne faut pas se contenter de caler un boulin avec des pierres ou des briques. Il faut utiliser des coins de bois. Mais ces cales, incluses dans le mortier, laissent échapper des coulures d'eau mêlées de sève et de pigments qui risquent de maculer les parements ; pour cette raison, on privilégie le sapin. En effet, contrairement au chêne, il ne contient pas de pigments sombres, et sa sève est claire : les coulures ne risquent pas alors de tacher la pierre (tanin).

Lorsqu'il s'agit d'échafaudage à double rangée de montants, veillez à ce que les boulins soient le plus près possible du mur afin qu'ils puissent, le cas échéant, supporter une planche entre le montant et le mur.

4- Culan (18) : assemblage chaîné d'une perche et d'un boulin



Les consoles

Si des consoles en bois doivent être clouées à des montants en grume, ces derniers doivent être équarris au droit de la traverse et de l'écharpe*, afin d'assurer une surface de contact suffisante.

Lorsqu'il est fait usage de cordages pour fixer les éléments horizontaux aux éléments verticaux, ils doivent être d'une seule pièce (avec ou sans épissures*) et d'une longueur suffisante pour faire un nombre de tour en rapport avec leur résistance et la charge supportée. Servez-vous du cordage pour aligner la partie supérieure des traverses destinées à recevoir les planches.

Attention ! les montants doivent être reliés entre eux par des longerons, afin d'assurer la solidarité des divers éléments de l'échafaudage. N'oubliez pas de placer un montant et des consoles à l'intersection de deux échafaudages se rejoignant à l'angle d'un bâtiment.

Les planchers

Les planchers doivent être horizontaux, ou, exceptionnellement, ils peuvent accuser une pente qui ne doit jamais être supérieur à 15 % par rapport à l'horizontale. Ils doivent alors être recouverts de liteaux cloués en travers, ou de tout autre dispositif évitant de glisser.

Les planchers doivent avoir 0,60 m de largeur au moins, et recouvrir toute la portée des boulins, y compris la partie subsistante entre les montants et le mur. Le bord du plancher d'un échafaudage ne doit pas être éloigné de plus de 0,20 m de la construction. Les planches doivent être jointives et reposer sur trois appuis au moins, avec un recouvrement minimum de 0,10 m à chaque extrémité afin de prévenir tout effet de bascule.

Lorsque, par suite de verglas, de gelée ou de neige, les planches sont rendues

glissantes, toutes mesures doivent être prises pour éviter les glissades (répandre du mâchefer, du sable... par exemple). Il faut déneiger l'échafaudage, à partir de 0,10 m d'épaisseur pour éviter que celui-ci ne s'effondre.

Les planches

Pour la constitution des planchers d'échafaudage, employez exclusivement des planches de sapin de qualité dite « d'échafaudage ». Ces planches doivent avoir une épaisseur de 0,35 ou 0,40 m.

Méfiez-vous des planches qui glissent. Chaque planche doit déborder de ses points d'appui d'au moins 0,10 m. N'oubliez pas qu'une planche doit recouvrir la précédente d'au moins 0,20 m au-dessus d'un boulin, afin qu'elle ne puisse pas, au bout d'un certain temps, à la suite des glissements que provoque la circulation, s'échapper.

Les contreventements

Le contreventement est destiné à assurer la stabilité de l'échafaudage et à le garantir des déformations. Au fur et à mesure de son montage, disposez des diagonales en croix de saint André, sur la rangée extérieure de l'échafaudage, de manière qu'il y ait au moins une diagonale entre chaque travée de deux montants. Les diagonales doivent être fixées aux montants de l'échafaudage ou aux boulins, eux-mêmes fixés aux montants. Pour 40 m² de façade, prévoyez également un ancrage, soit par scellement, soit par l'intermédiaire d'étrésillons bloqués dans les baies de la façade.

José Gonçalves

L'exemple de l'abbatiale Saint-Robert de La Chaise-Dieu en Auvergne

Cet édifice est une commande pontificale et appartient au mécénat du pape Clément VI (1342-1352). Sa construction bénéficia d'un financement unilatéral et continu de 1344 à 1352, date de l'achèvement des travaux de décoration. L'église de plan basilical est dépourvue de transept ; ses dimensions sont relativement modestes, puisqu'elle mesure dans l'oeuvre 75,63 m de longueur, 24,20 m de largeur et atteint quelque 19 m de hauteur sous clef.

L'examen des parois granitiques de l'abbatiale Saint-Robert ne révèle aucun trou de boulin servant à établir plates-formes et claies indispensables à l'édification d'un monument. Or, les sources textuelles, malgré leur caractère lacunaire, attestent la construction et l'utilisation d'échafaudages et d'engins de levage sur ce chantier entre 1345 et 1347.

Les échafaudages mobiles

Les mentions d'échafaudages en bois et claies mobiles livrées par les livres comptables de la Chaise-Dieu sont rares ; trois catégories sont pourtant définies.

Les termes employés pour les désigner sont « *stagias* », « *solas* » et « *solarias* ».

Les *solarias* étaient des planchers de circulation placés au haut des murs et accessibles par des escaliers ou par des échelles. L'assemblage se faisait au moyen de longues planches de bois appelées *laons* qui étaient liées entre elles par des cordes.

Les *solas* ou claies, fabriquées sur le chantier, étaient exclusivement composées de treillages en bois ; l'osier n'étant jamais cité. Ces plates-formes légères étaient arrimées à des pièces de bois porteuses, les *pals* ou boulins, pouvant être ancrées dans la maçonnerie. Ainsi fixées aux murs, les *solas* recevaient généralement un seul homme, ses outils et une *bachassa* (auge) de mortier. L'assemblage de ces

claires se faisait au moyen de cordes et de chevilles de bois afin de faciliter les opérations de démontage et de remontage.

Les *statgias* (ou *statgiis*), composés d'une multitude d'étages ou de niveaux, s'élevaient au fur et à mesure des travaux. Leur construction était plus longue et plus coûteuse, puisqu'elle exigeait la taille et l'assemblage de nombreuses pièces de bois chevillées puis attachées entre elles par de grosses cordes de chanvre. Les chevilles destinées aux *statgias* étaient en chêne, bois dur et d'un prix élevé ; le bois de sapin étant communément utilisé pour le chevillage des échafaudages légers. Ainsi, en janvier 1345, deux charretées de pieux de chêne furent-elles livrées à l'abbaye pour tailler les « *chavilhas pro statgiis* ». L'iconographie et les sources textuelles permettent de les identifier comme des échafaudages indépendants montant de fond (cf. note 5).

Toutes ces constructions étaient particulièrement instables ; afin d'éviter toute surcharge du plan de travail et minimiser les risques de chute, les pierres taillées et le mortier de chaux étaient chargés dans des seaux ou des sacs de toile épaisse, puis hissés selon les besoins des maçons au moyen d'engins de levage munis de poulies. Il en allait de même pour les pièces les plus lourdes ou de grande taille tels les cintres des voûtes.

Les escaliers

Sur les chantiers gothiques, les escaliers en maçonnerie de pierre étaient rapidement réalisés. Ils évitaient les constructions de bois, onéreuses puisque provisoires, et plus dangereuses, car instables. Pour l'accès aux parties hautes, les ouvriers n'empruntaient plus les échelles, ce qui représentait moins de fatigue physique, donc un meilleur rendement et un gain de temps appréciable.

La construction d'un escalier à vis de 74 marches est mentionnée le 17 octobre 1347, « *ad faciando las marchas de las vitz de la sagrestania* ». Situé dans la partie orientale de l'édifice, il est accolé au collatéral sud et communique directement avec le chœur dont le voûtement a commencé le 5 septembre. Un second escalier provisoire, en bois, est construit en décembre 1348. Il permettait d'accéder depuis le pied de l'église aux parties hautes et pouvait être déplacé en fonction de l'avancement des travaux.

Les accidents de chantier : chute d'échafaudage

La masse d'informations livrée nous renvoie le reflet d'un monde spécialisé, conscient des difficultés techniques et des dangers inhérents à la réalisation d'une telle entreprise. Ainsi le choix de cordes de fort calibre était-il de la responsabilité de l'un des principaux maîtres d'oeuvre, Hugues Morel, qui devait se déplacer pour passer commande dans les centres marchands alentour.

L'utilisation de pointes, généralement réduite sur d'autres chantiers, car le fer est un matériau coûteux, est ici très importante, mais semble réservée aux seuls engins de levage. Renforçant certaines constructions, elles minimisaient ainsi les risques de rupture.

Les accidents étaient fréquents sur les chantiers au Moyen Âge ; la Chaise-Dieu ne fut pas épargnée, puisqu'en 1347 la chute d'un échafaudage montant de fond blesse le maître d'oeuvre Pierre Salciat et vingt manoeuvres. L'extrême gravité des blessures entraîna la mort de certains d'entre eux. Un chirurgien de Brioude, maître Raymond, le barbier Hugues et son aide ledit Buel, prendront soin des victimes. Le scribe précise la nature des soins donnés : il est intéressant de noter le terme « *implaustris* » qui pourrait aussi bien signifier plâtrer que poser un

emplâtre.

Frédérique-Anne Costantini

L'échafaudage au Moyen Âge

- 37 L'échafaudage dans le chantier médiéval est caractérisé par la diversité des formes qu'il peut prendre, soit dans sa structure propre, soit dans son rapport avec le bâti. Deux formes coexistent : l'échafaudage encastré, et l'échafaudage indépendant. Mais ces structures n'épuisent pas la typologie ; on doit prendre en compte d'autres formules moins bien connues, hétérogènes, quelquefois atypiques, régulières ou non, qui établissent des relations parfois inattendues avec l'architecture et dont nous donnons ci-après quelques exemples.

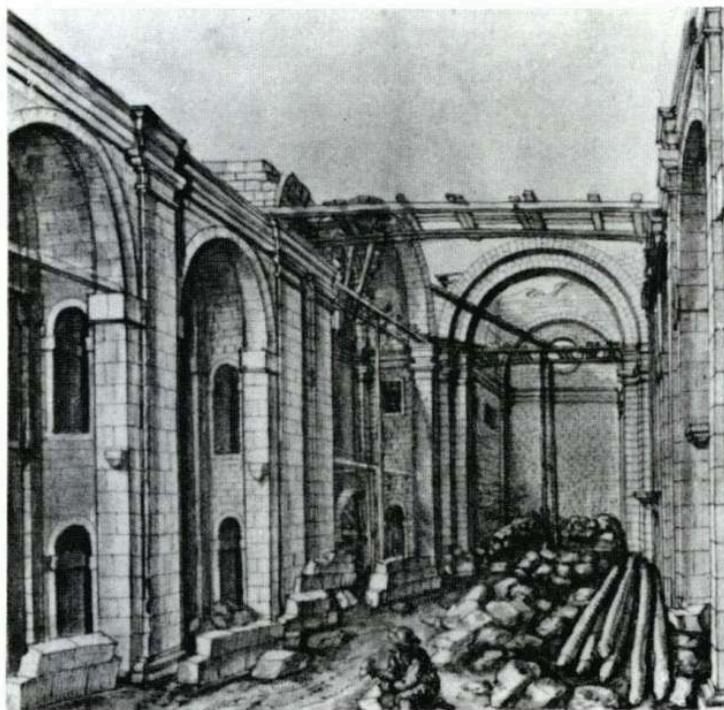
Une typologie

Échafaudages d'appoint

Les échafaudages volants

- 38 On appelle ainsi toute planche ou assemblage sommaire de planches et de longerons jetés au besoin entre deux parties proches d'un bâtiment en construction, sans liaison avec un éventuel échafaudage général. La représentation, par Martellange, du chantier de la chapelle des Jésuites au Puy (Haute-Loire) (**fig.5**) montre des structures lourdes de ce genre, passerelles jetées par dessus la nef d'un mur gouttereau à l'autre.

5- Construction de l'église du collège des jésuites au Puy (Haute Loire)



Dessin de Martellange
Dictionnaire des églises de France, IIb, p. 111. R. Laffont 1973

Les tréteaux

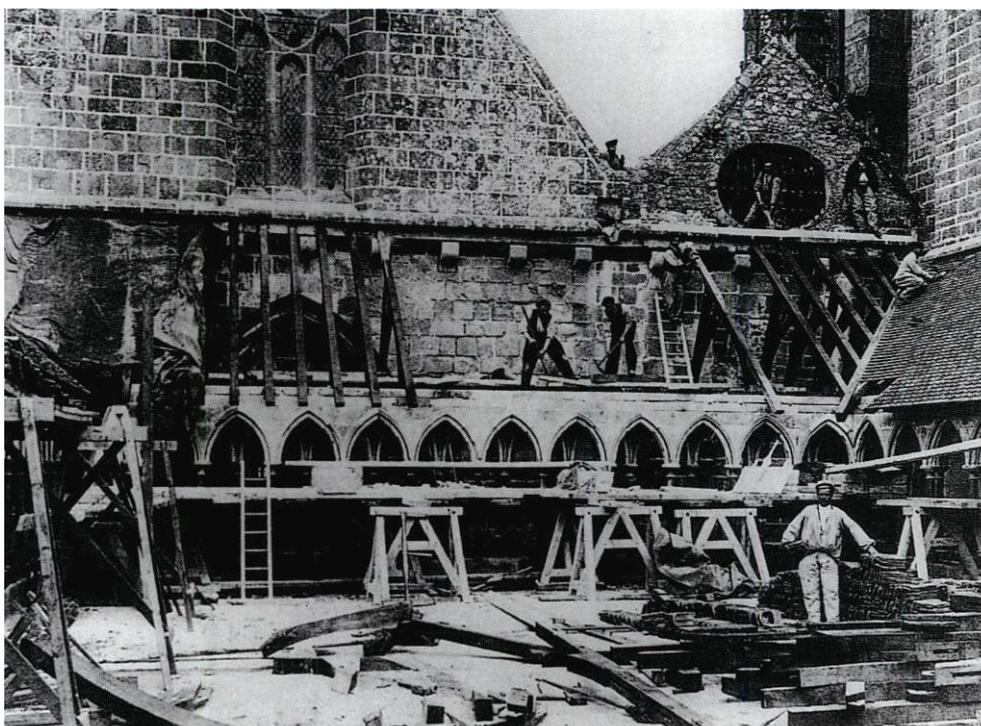
- 39 Aujourd'hui, pour des mises en œuvre à des hauteurs inférieures à six mètres, l'échafaudage n'est pas facturé dans les métrés. En effet, la présence de deux hommes n'est pas nécessaire et on peut utiliser un « hausse-pieds ». L'iconographie médiévale atteste l'utilisation de telles structures, tréteaux* à partir desquels des maçons travaillent à monter les premières hauteurs de bâti (**fig. 6**). Ce type d'échafaud est très simple, il est rapidement monté et facile à déplacer. Il peut se résumer à deux supports quelconques et une planche. Son intérêt réside dans la non spécialisation des éléments de base : divers matériels de chantier peuvent ainsi être détournés de leur usage propre (**fig. 7**).

6- Estrade. Boèce. De consolatione philosophiae



Echafaudage représenté comme une estrade, la représentation est symbolique.
Bibl. municipale de Lyon, Ms. 245, fol 152

7- Le Mont-Saint-Michel (Manche)



Vue du cloître de l'ancienne abbaye en cours de restauration, photographié, vers 1878. *Monumental*, décembre 1993

Structures permanentes

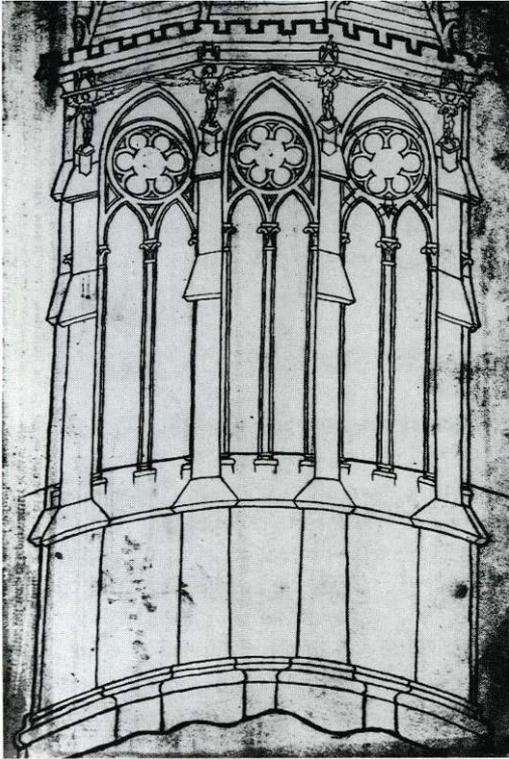
Levées de terre

- 40 Les observations faites, dans la basse-cour du château des Allymes (Ambérieu-en-Bugey, Ain), sur la tour pleine qui actuellement termine au nord la courtine de l'enceinte, ont révélé un autre mode de mise à niveau du chantier par rapport aux hauteurs de travail. Cette tour a été vidée en 1995 et les travaux ont mis en évidence deux zones de remplissage, séparées par une couche de mortier (Allymes 1995, p. 43). La moitié supérieure était composée des pierres éboulées du mur. Les joints du parement interne, peut-être couvert d'un badigeon, avaient été serrés à la truelle. La partie inférieure (sur environ 1,50 m) était remplie de terre solidement tassée. Or, cette zone-ci correspond à une hauteur murale extérieurement parementée, séparée de la précédente par une assise de réglage. A l'intérieur, le parement n'est pas travaillé et les joints ont largement bavé dans le remplissage contemporain. Tout se présente comme si l'on avait bâti la première moitié du cylindre de maçonnerie en le remplissant régulièrement de terre, d'une part pour renforcer les capacités défensives de la tour, la maçonnerie étant étayée par la masse, et d'autre part, pour établir un niveau de circulation intérieure qui a pu aussi jouer le rôle de plan de travail. On rencontre un système similaire à Montverdun, où les tours d'enceinte, d'un faible diamètre interne, étaient en partie comblées.

Les crétiaus

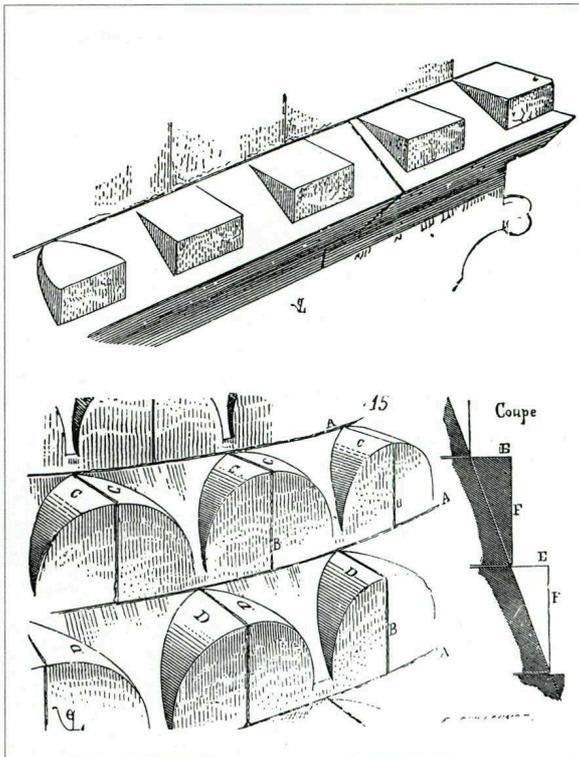
- 41 Tous les systèmes de circulation qui appartiennent à l'architecture même de l'édifice - tribune, *triforium*, coursiers, couloirs intérieurs, etc. - constituent objectivement autant de moyens de circuler en hauteur durant les travaux, comme cela se pratique naturellement encore aujourd'hui (Heliot 1970 ; Vergnolle 1994). Tous ces passages en hauteur étaient susceptibles de servir de point d'appui et d'ancrage aux échafaudages des parties hautes et à l'installation des cintres, lors du voûtement de l'édifice.
- 42 Parmi ces lieux de circulation, des architectes du XIXe s. citent les crétiaus. Sur le dessin exécuté par Villard de Honnecourt de l'élévation extérieure de la cathédrale de Reims (Villard de Honnecourt 1986, pl. 61 et p. 126), les deux larmiers dont l'un surmonte le mur gouttereau du bas-côté et l'autre souligne le clair étage de la nef, portent de curieux et minuscules créneaux. Villard les nomme des « crétiaus », sorte de petits dés épargnés sur le glacis des blocs. Il s'agirait d'une sorte d'échafaudage permanent, établi dans la structure monumentale en pierre. Selon Viollet-le-Duc (Viollet-le-Duc 1854, article *Cathédrale*, exemple de Reims, p. 317), « le larmier du couronnement des corniches qui passent au niveau des bas-côtés devant les contreforts des transepts et du choeur est muni de petits repos horizontaux, espacés les uns des autres de 0,40 m à 0,50 m, qui forment comme des créneaux, et que Villard de Honnecourt appelle, dans ses curieuses notes, des crétiaus réservés sur la pente des larmiers pour permettre aux ouvriers de circuler autour des contreforts à l'extérieur » (**fig. 8, 9**). R. Bechmann (Bechmann 1984) signale dans l'architecture anglaise des zones de circulation externe sur crétiaus, parfois protégées par un garde-corps. Mais il est possible aussi que ce type de composition ne soit que la version inversée de la corniche antique⁴.

8- Elévations extérieures des chapelles de la cathédrale de Reims



Carnet de Villard de Honnecourt
Bibl. Nat. de France, n° 19093, fol. 31

9- Crétiaus



Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe s. Viollet-le-Duc 1854-1868

- 43 L'installation de ces systèmes semble être liée à des travaux spécifiques dans la construction. Par contre, en ce qui concerne le gros-œuvre, les échafaudages utilisés sont dits de pied, car ils prennent appui sur le sol. Ils sont alors soit de type encastré dans le mur, soit de type indépendant, ou encore de type mixte.

Échafaudages usuels

- 44 Il existe une très grande diversité parmi les échafaudages en bois. Lorsque l'assemblage est dressé parallèlement au parement, qu'il repose sur le sol, et que les plateaux sont soutenus par des perches verticales, l'échafaudage est dit de pied⁵. Trois cas se présentent.

L'échafaudage est composé d'une structure verticale à un rang de perches

- 45 Celles-ci sont mises en place pour soutenir les boulins, renforts qui travaillent à la traction. L'échafaudage est dit alors encastré. L'ancrage dans le mur s'effectue en même temps que la construction : le bois est soit pris dans la maçonnerie fraîche, soit glissé et bloqué dans un fourreau* maçonné pris dans le blocage du mur, dont la dimension est supérieure à la section du boulin afin de pouvoir introduire, puis retirer celui-ci en vue de son emploi éventuel. Mais il existe aussi d'autres formes d'ancrage, comme, par exemple, celle qui utilise l'ouverture des baies, et dont il sera fait mention plus loin.
- 46 L'échafaudage est dit en bascule lorsque les boulins sont confortés seulement par des équerres (**fig. 10 et 64**).

10- Échafaudage en bascule (détail)

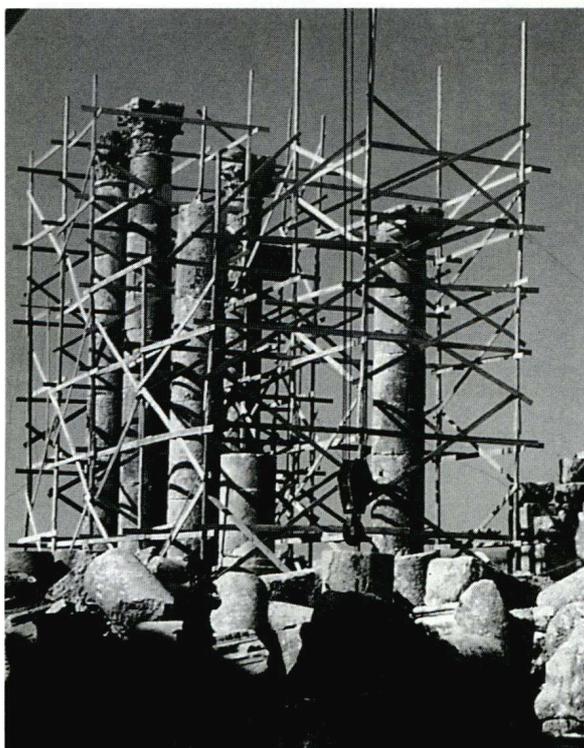


By permission of the British Library; Ms. Cotton Aug. AV, fol. 5 IV.

L'échafaudage est soutenu par une structure verticale à deux rangs de perches

- 47 Il s'agit alors d'un échafaudage indépendant (**fig. 11**) qui est plus compliqué à mettre en place et à stabiliser, mais il respecte les parements de l'édifice ; il ne laisse alors aucune trace dans l'élévation, et seule la fouille permet parfois de l'identifier. Il n'y a aucun avantage à mettre en place conjointement des ancrages muraux et des paires de perches.

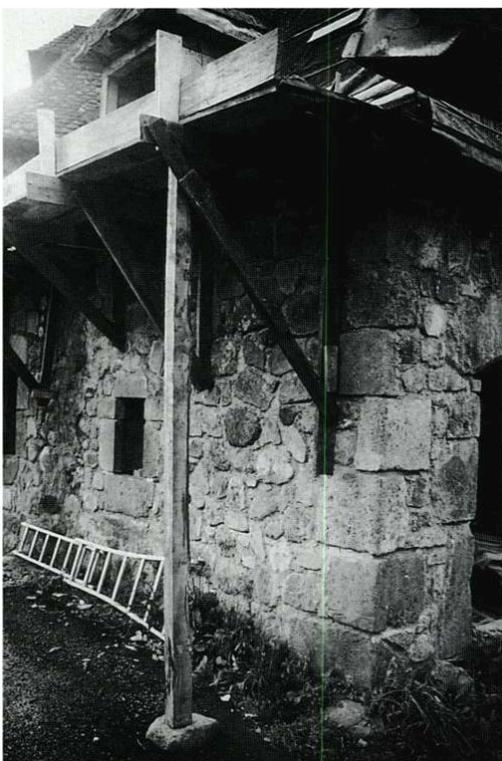
11- Apamée, (Syrie) : restauration de vestiges antiques



Un système mixte

- 48 Il combine l'échafaudage de pied et l'échafaudage en bascule (**fig. 12**). L'exemple du prolongement sud de la nef de Saint-Honorat des Aliscamps (**fig. 25**), illustrera mieux qu'une longue explication ce type difficile à analyser. La mise en œuvre de la partie orientale de ce prolongement a été structurée par des lignes de deux trous de boulin espacées verticalement de 1,60/1,75 m ; le reste du mur montre deux lignes seulement, très fortement espacées, mais alignées sur deux lignes correspondantes de la partie est du prolongement. On doit en déduire que cette seconde partie de l'échafaudage était composée de deux platelages soutenus par des boulins, alors que les autres ne sont fixés qu'aux perches, ces dernières étant sans doute distribuées en deux rangs.

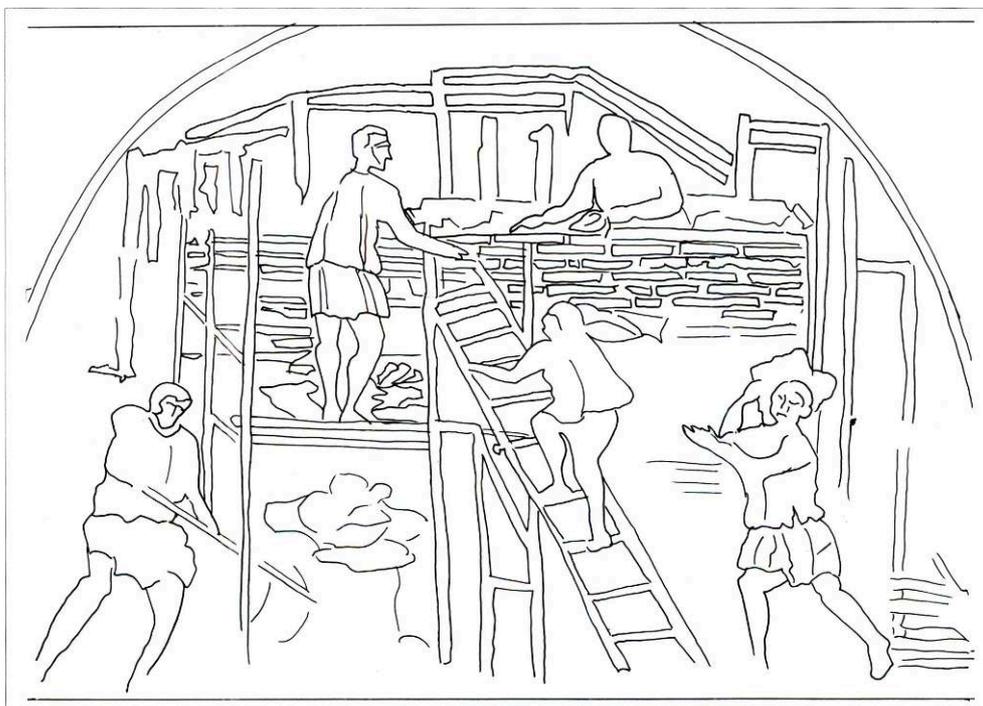
12- Vic sur Cère (15) : échafaudage mixte lié à des travaux de toiture (lauze), platelage sur équerre et un rang de perche



Remarques chronologiques

- 49 Les échafaudages indépendants et encastrés sont connus depuis la plus haute Antiquité (Adam 1984, p. 85-90) (**fig. 13**). L'usage consistant à utiliser le mur pour ancrer un échafaudage par le biais de trous de boulin bâtis est caractéristique de l'architecture de pierre⁶ et de briques. L'échafaudage encastré à un rang de perches est traditionnellement employé dans l'Antiquité, en association avec le petit appareil, il n'en est pas de même pour le moyen appareil. L'originalité de l'époque médiévale fut d'étendre ce système économique et sûr à la pierre de taille. Mais les quelques études qui ont été consacrées à l'échafaudage antique reproduisent dans la plupart des cas des boulins non traversants, ce qui dans le petit appareil de moellons maçonnés soulève le problème des risques de désolidarisation des maçonneries. Les ligatures sont par ailleurs toujours représentées avec des croix, ce qui ne semble pas correspondre à la réalité. Ces interprétations seraient peut-être à nuancer et l'étude du système antique à approfondir.

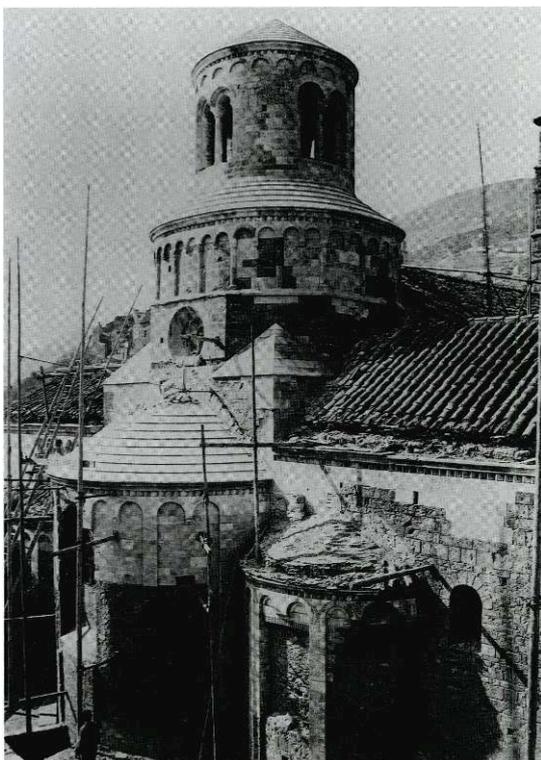
13- D'après une fresque romaine représentant une scène de chantier



Adam 1977

- 50 Peut-on pour autant parler d'évolution chronologique ? Dans les édifices étudiés dans la région lyonnaise, à partir du XVe s., c'est point par point que l'on pose des échafaudages encastrés. Au XVIIIe s., il n'y a plus aucune trace de trous de boulin sur les parements, l'échafaudage est donc totalement installé parallèlement à la façade. Il faut attendre le XIXe s. et en particulier la période où l'on commence à restaurer les édifices anciens (liste de Mérimée pour le classement d'édifices comme Monuments Historiques à partir de 1840), pour redécouvrir l'utilité des trous de boulin (**fig. 14**).

14- Cruas (07) : restauration du chevet de l'église abbatiale



Les échafaudages utilisés lors de la restauration des parements reprennent l'implantation des trous de boulins. L'échafaudage est de type encastré à simple rang de perche. Les boulins sont ligaturés aux perches par des noeuds en cordages. Les perches qui montent plus haut que l'abside à échafauder sont haubannées au tambour de la coupole

Archives de la C.R.M.H. Rhône-Alpes, cliché : Mieusement, 1880

NOTES

1. Citons notamment Ch. du Cange (Cange-1840-1850), F. Godefroy (Godefroy 1881-1902), V. Mortet et P. Deschamps (Mortet 1911-1929) et P. Pansier (Pansier 1927).
2. A ce titre, la distinction actuelle entre échafaud et échafaudage paraît relativement récente. L'étude de sa genèse reste à faire à partir, notamment, des divers dictionnaires techniques anciens. Elle nous permettrait peut-être de mieux comprendre la situation antérieure.
3. La mention d'*eschafaudeurs* n'implique pas, quant à elle, de spécialisation poussée dans la mesure où l'échafaud lui-même est une construction polymorphe, et où cette désignation peut rendre compte d'une activité plus que d'une réelle qualité.
4. Nous remercions B. Phalip, maître de conférences à l'Université de Clermont-Ferrand, pour les commentaires qu'il nous a fait parvenir sur l'aspect décoratif de ces créteaux.
5. "La terminologie évolue d'une région à l'autre. L'échafaudage de pied est dit "de fond" en Limousin " (B. Phalip).

6. Les élévations en pisé par exemple, voient leurs trous de clefs réutilisés lors de la pose de l'échafaudage inévitable pour enduire les façades, mais elles ne comportent pas de trous liés à leur mise en oeuvre.

Chapitre 2. Les matériaux : nature, marchés

- 1 C'est un domaine dans lequel l'étude des textes médiévaux est une source majeure et irremplaçable, nous avons toutefois pu tirer un parti non négligeable des données iconographiques et d'un certain nombre d'observations faites sur les monuments encore en élévation. Dans ce domaine, qui peut apparaître à certains comme « la chasse gardée » des paléographes, l'approche pluridisciplinaire engagée a suscité des échanges inattendus dont le moindre des effets n'est pas la formulation ou reformulation de plusieurs questions. Nous nous sommes attachés ici à donner un état de nos connaissances et à mettre en évidence les points sur lesquels la recherche engagée nous semblait pouvoir être fructueusement poursuivie.
- 2 Il convient de noter que le type d'échafaudage exécuté et la destination des pièces de bois ne sont généralement pas donnés dans les textes. C'est pourquoi, dans l'ignorance de l'utilisation réelle de telle ou telle pièce de bois (boulin, moise, écharpe ou perche, par exemple) et pour marier sans ambiguïté ces données avec celles des autres sciences, nous avons réparti les matériaux mentionnés en deux grands ensembles.
- 3 Tout d'abord la structure (poutrelles verticales, horizontales et diagonales) puis le platelage (surfaces de travail ou de circulation), en nous proposant d'étudier tout d'abord leur nature et leurs dimensions, puis la fourniture et le coût.

Les matériaux

La structure

Essences

- 4 En matière d'échafaudage, les indications d'essence portées dans les textes sont rares, mais cette absence de précision est peut-être la marque d'un recours indistinct à toutes sortes de bois ou, plutôt, aux variétés localement les plus courantes. C'est ce que paraît confirmer le remploi relativement fréquent de pièces de toiture ou de plancher pour la confection des « étagères » - nous y reviendrons.

- 5 Il est de ce fait plus que probable que les essences employées aient changé en fonction des disponibilités du marché, selon les villes, les régions et/ou les époques. A Aix-en-Provence, les constructeurs se sont sans doute servis des résineux bas-alpins (sapin, pin, mélèze) qui représentaient la quasi-totalité des bois mis en oeuvre dans ce lieu. A Dijon, les comptes de la chartreuse de Champmol mentionnent exceptionnellement l'achat de six grandes pièces de chêne pour les échafaudages du réfectoire en 1386⁷. Pour le reste, les constructeurs s'approvisionnent presque toujours dans les forêts de la région, ce qui laisse supposer l'utilisation d'espèces courantes telles que le hêtre ou le chêne.
- 6 L'archéologie confirme la variété des essences utilisées : ce sont des pièces de chêne que Ch. Le Barrier a retrouvé prises dans des trous de boulin au donjon du château d'Ecotay (42) et au clocher du prieuré de Montverdun (42). Il s'agit de vestiges de rééchafaudement datant respectivement d'après 1430 et du XVIIe s. Dans un trou de boulin de la tour des Montmayeur, à Aime, c'est une pièce de résineux que J. Tardieu et J.-P. Ziolkowski ont retirée ; et à Die, dans les parements de l'ensemble occidental de la cathédrale, ce sont également trois pièces de sapin (*Abies alba*) et une pièce de pin (*Pinus sp.*) que N. Reveyron et J. Tardieu ont retrouvées. Utilisait-on en priorité le chêne et, à défaut, d'autres essences ? Nos renseignements sont trop ténus pour déboucher sur des généralités, fussent-elles hypothétiques.
- 7 L'alternative chêne/sapin, inscrite dans les consignes de sécurité des années soixante (OPPBT 1966), doit elle-même être reconsidérée, en raison, par exemple, de l'emploi attesté du charme à Blois, au milieu du XVe s⁸. Il ne semble pas qu'il y ait eu de réelle exclusive dans l'emploi des essences pour échafauder. Tout au plus a-t-on pu retenir, parmi les variétés disponibles, celles qui convenaient le mieux par leurs qualités physiques. On ne peut apprécier aujourd'hui la part réelle du choix.

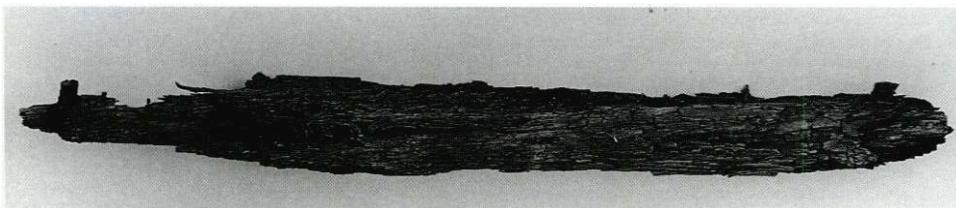
Dimensions

- 8 Les dimensions de certaines pièces sont données par les textes. Il s'agit toujours de grandes longueurs. Pour la Chartreuse de Champmol, à la fin du XIVe s., on utilise des poutrelles de 9,90 à 13,20 m, voire 16,50 m (40 à 50 pieds, 60 pieds). Ce sont des dimensions du même ordre que livrent les comptes du Palais des Papes d'Avignon quelques décennies plus tôt (4 à 6 cannes, soit 8 à 12 m).
- 9 En Provence, comme à Dijon, ces précisions ne portent que sur quelques éléments et soulignent sans doute un caractère particulier (exceptionnel ?). Il semble peu probable que de telles poutrelles aient été ensuite débitées et nous avons sans doute ici la longueur de quelques perches ou moises.
- 10 Nous n'avons pas retrouvé dans les textes d'indications sur la section de ces bois, mais plusieurs indices nous permettent de l'évaluer. En premier lieu nous connaissons, pour Aix-en-Provence, la section moyenne des poutrelles disponibles sur le marché : de 8 à 16 cm environ.
- 11 L'étude des ouvertures de trous de boulin est révélatrice de tendances générales. Elle a livré un nombre conséquent, sur le plan statistique, de dimensions qui oscillent couramment entre 8 cm sur 10 et 20 cm sur 25 ; il s'agit en général d'orifices carrés d'une dizaine à une quinzaine de centimètres de côté ; compte tenu de l'adaptation du boulin à son fourreau - le boulin doit à la fois être solidement maintenu par la maçonnerie et pouvoir en être retiré pour remploi - on peut estimer que la section de

ces poutres ancrées est à peine inférieure à l'ouverture du trou. Les données des textes et de l'archéologie se rejoignent donc pour fixer la section courante des boulines entre 8 et 15 cm, ce que confirment les travaux de G. Coppola (Coppola 1991).

- 12 On peut imaginer que la largeur des perches se situait aussi dans cette fourchette ; toutefois, les pièces de 15 m et plus avaient certainement à leur base des dimensions plus importantes.

15- Aime (73) : boulin retiré d'un trou de boulin en 1994 lors de la restauration de la tour des Montmayeur



A propos de quelques boulines conservés

C'est le boulin qui est l'élément structurant le mieux connu, grâce aux fragments conservés dans les parements anciens. Les programmes de restauration menés par les Conservations des Monuments Historiques donnent de plus en plus souvent l'occasion de les retrouver et de les extraire, ce qui nous permet d'en avoir une connaissance positive et directe ; mais cette approche n'est que partielle, puisqu'elle concerne des boulines qui n'ont pu être dégagés de leur fourreau, soit parce qu'ils lui étaient trop exactement adaptés en forme et en section, soit parce qu'ils ont été entrés en force lors de réutilisation des trous de boulin.

Des boulines ont été prélevés en 1994 lors d'études d'élévations dans l'ensemble occidental de la cathédrale de Die (Drôme) et dans la tour des Montmayeur, à Aime (Savoie). Il s'agit ici d'une branche de résineux (**fig. 15**) affûtée en pointe qui a été cassée au nu du parement : elle mesure 0,70m de long pour 0,06m environ de rayon ; elle n'occupait donc pas toute la longueur du trou qui est traversant (0,90m environ). C'est pour l'instant le seul exemple de rondin retrouvé dans la région. L'échantillon, très dégradé, n'a pu être daté (1045 cal AD-1280 cal AD) que par le radiocarbone⁹. A la cathédrale de Die, les quatre fragments de boulines prélevés dans la tour-porche et le mur ouest de la nef sont trois pièces de sapin (*Abies alba*) et une de pin (*Pinus sp.*) de section quadrangulaire, aux mesures variant de 0,085 à 0,105 m. de côté. Ils s'enfonçaient dans l'épaisseur du mur sur 0,40 à 0,50m. de profondeur. Les séquences chronologiques se situent entre les années 1113 et 1167 et, pour l'un d'entre eux provenant d'un rééchafaudement, entre les années 1490 et 1512¹⁰. Dans la première série le boulin prélevé au niveau des voûtes était accompagné de son bois de calage en sapin qui lui est contemporain.

Christian Dormoy, Nicolas Reveyron, Joëlle Tardieu

Système de calcul pour approcher sensiblement les longueurs des perches

Un système de calcul permet d'approcher les dimensions de leur section en donnant des ordres de grandeur significatifs.

Quand on observe un parement ponctué de trous de boulin, on constate que ceux-ci s'organisent souvent en colonnes verticales caractérisées par un aplomb relatif

de ceux-ci les uns par rapport aux autres. Le relevé de ces alignements fait apparaître de légers décalages par rapport à un axe unique parfaitement vertical, qui peuvent être interprétés comme les traces de la largeur d'une perche ou de deux perches liées ; autrement dit, si l'on considère deux boulines superposées A et B, il est possible de définir les cas de figure suivants (**fig. 16**) : 1) si A et B sont attachés du même côté de la même perche, ils sont exactement alignés verticalement, sur un ou deux de leurs côtés (type aligné) ;

2) si A et B sont attachés de part et d'autre de la même perche, ils sont décalés de la largeur de cette perche (type monoaxial alterné) ;

3) si A et B sont attachés de part et d'autre de deux perches jointes bout à bout, chacun sur un côté externe de l'ensemble, ils sont décalés des largeurs ajoutées de ces deux perches (type alterne-externe) ;

4) si A et B sont attachés du même côté de deux perches jointes bout à bout, ils sont décalés de la largeur d'une seule perche (type dyaxial décalé) ;

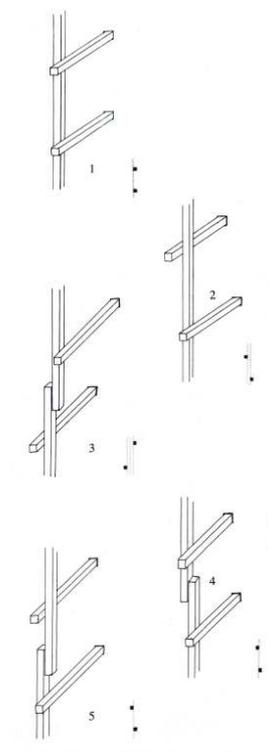
5) si A et B sont attachés de part et d'autre de deux perches jointes bout à bout, mais chacun sur un côté interne de l'ensemble, ils sont disposés en quinconce par rapport à l'axe vertical dessiné par leurs côtés alignés (type alterne-interne).

Si l'on dispose en tableau les suites de ces variations, on obtient des mesures correspondant à des ordres de largeur. L'archéologie du sol offre des jalons plus concrets, moins soumis aux aléas des montages aériens (flexibilité des perches et des boulines, possibilité d'inclinaison des perches, etc.) : les trous de calages de perches étudiés dans le sol de l'abbatiale de Cruas donnent une idée plus exacte de ces dimensions (*cf. infra*).

D'autre part, on peut calculer la longueur des perches de manière plus précise. Quand on observe, sur la totalité d'un parement, un ensemble de trous de bouline, on remarque qu'ils s'organisent par groupes et en strates : deux, trois ou quatre lignes horizontales successives sont composées de trous de bouline parfaitement alignés verticalement et forment ainsi un sous-ensemble homogène ; cela signifie qu'ils sont liés aux mêmes perches et que, par voie de conséquence, la longueur de ces perches excède de peu (il faut laisser libres les extrémités pour abouter* une perche à la suivante) la hauteur totale de chaque sous-ensemble ; on a ainsi relevé des longueurs d'environ 4 m. La hauteur où apparaît le premier platelage donne d'autres indications (*cf. infra*) ; lorsque les premiers trous de bouline ont été ménagés à quelque 6/8 m de haut par rapport au sol du chantier et qu'ils présentent une très faible profondeur, comme au chevet de la cathédrale de Lyon, on peut en déduire sans erreur que les perches de ce premier niveau mesureraient au moins 7/9 m de longueur.

Nicolas Reveyron

16- Différents types d'attaches des boulins aux perches



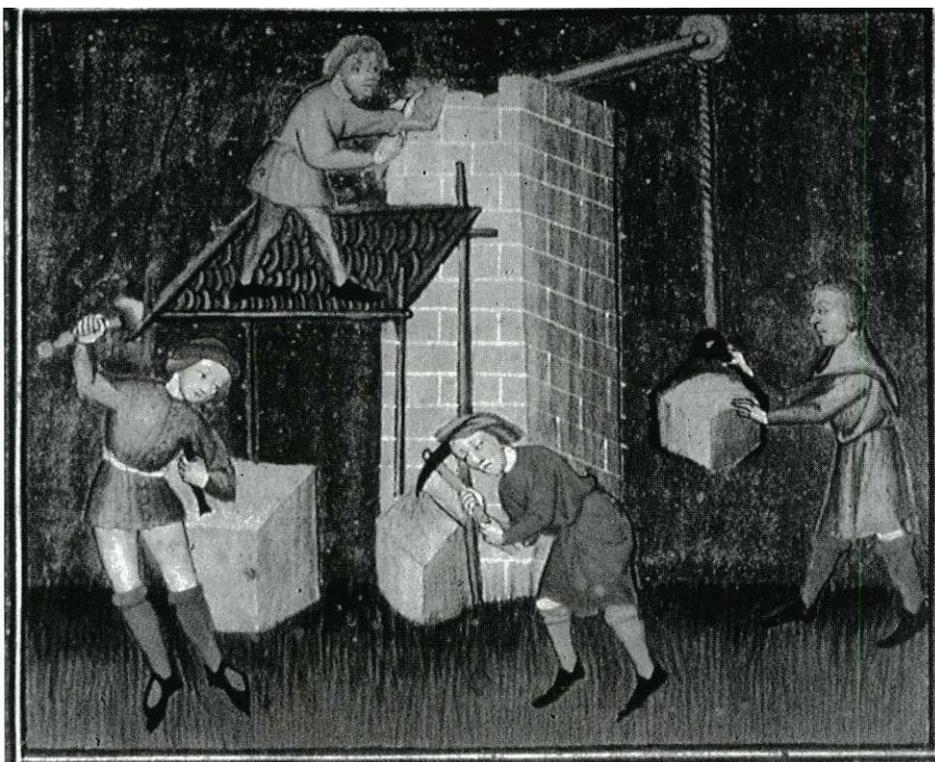
Le platelage

- 13 Deux types de platelage sont attestés par les sources écrites et iconographiques : le premier est formé de claies, le second de planches.

Claies

- 14 On trouve mention de l'emploi de ces panneaux de branches entrelacées dans les échafaudages dès le XI^e s. dans un passage de la vie de Gauzlin relevé par V. Mortet (Mortet 1929, t. I, p. 37 et note 2). Les textes postérieurs, comme les représentations (**fig. 10 et 17**), l'évoquent à de multiples reprises, tant à Dreux au XIII^e s. (Mortet 1929, t. II, p. 234), qu'à Paris (Dautreuil 1994) ou Dijon au XIV^e s. Selon G. Coppola (Coppola 1991, p. 36), les claies étaient faites de branches souples de saule ou de chêne. Les sources écrites dijonnaises indiquent quant à elles que les claies utilisées à la chartreuse de Champmol étaient achetées dans les villages qui bordent la région des Marais des Tilles situés à l'est de Dijon¹¹. Il n'est donc pas exclu que l'on ait fait appel à d'autres variétés de bois tendres dans une région très humide, où les habitants devaient trouver en abondance les matériaux propres à ce type d'assemblage (peuplier, aulne, saule ?...).

17- Les claies

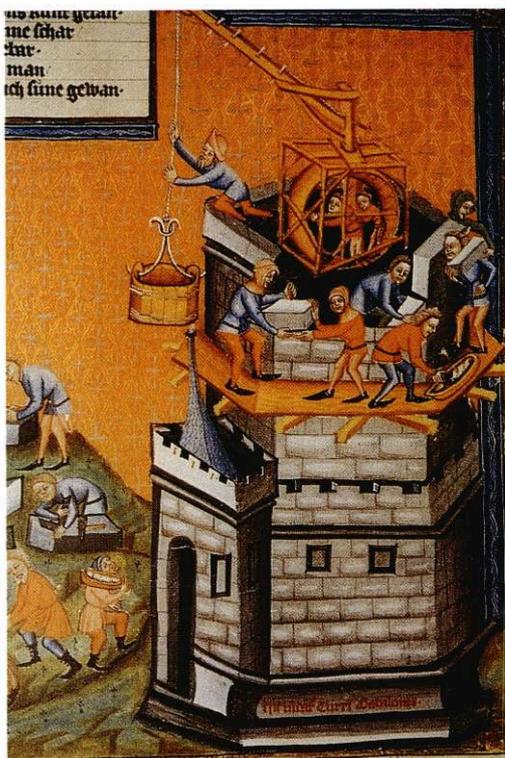


Paris Bibl. Nat. de France, Ms. fr. 380 fol. 26, v°

Planchers

- 15 On les trouve figurés maintes fois sur des miniatures (**fig. 18**) et plusieurs comptes mentionnent des achats de planches pour les échafaudages. On a pu utiliser à l'occasion des planches de seconde qualité comme ces dosses (*escodeng pro stagiis*)¹² fournies pour la construction du Palais des Papes d'Avignon¹³.

18- Platelages extérieurs



Représentation d'une tour de Babel grise à bossages. L'enlumineur a surtout insisté sur la reproduction de l'engin de levage actionné par une roue en « cage à écureuil ». L'échafaudage externe est de type encasté et sert à la circulation et à entreposer du matériel (ici gamate à mortier). Les platelages extérieurs sont très présents. L'image ne montre pas les trous de boulin sur les parements inférieurs terminés.

Les maçons sur les platelages sont représentés avec des chaussures qui font référence à un statut social (poulaines), ce qui laisse à penser que le miniaturiste n'est pas allé sur les chantiers, et que c'est d'après des ouvrages qu'il a reproduit les engins de levage. Différentes phases de la mise en oeuvre sont ici représentées ; elles utilisent le platelage : un manoeuvre, le bardeur, porte un bloc sur son épaule, le ficheur, maçon affecté au coulage des liants prépare son mortier, et le poseur frappe une pierre avec le manche de son outil pour ajuster son montage.

WIIRTEMBERGISCHE LANDESBIBL. STUTTGART. COD. BIBL. 2° 5, 9 v°

- 16 La rareté des éléments réunis invite à rester prudent quant aux conclusions à tirer sur l'emploi de ces deux types de platelage. Les indices sont bien faibles pour supposer un emploi plus ancien ou plus fréquent des claies. En revanche, dans la mesure où, à la même époque, certains échafaudeurs utilisaient des planches et d'autres des claies, il n'est pas exclu qu'il y ait eu une sorte de répartition géographique de ces procédés en fonction des possibilités d'approvisionnement des divers chantiers. Encore doit-on se garder d'opposer trop hâtivement « pays de claie » et « pays de plancher » car J. Quicherat a noté que les constructeurs de la cathédrale de Troyes ont employé tour à tour l'une et l'autre (Quicherat 1886, p. 202).
- 17 D'après ce que nous savons des matériaux livrés sur les chantiers provençaux, les planches de résineux avaient au maximum 33 à 37 cm de large et 4 cm d'épaisseur pour une longueur moyenne de 3 m. G. Coppola fait état, pour sa part, de pièces de 1,5 à 3 cm d'épaisseur pour 20 cm de large (Coppola 1991, P. 37). Nous n'avons pas trouvé dans les textes d'indications sur la longueur des platelages, mais les traces laissées par les échafaudages ancrés offrent quelques éléments d'appréciation. Notons en premier lieu que cette dimension, liée à celle de l'ouvrage et à la forme de ce dernier, est

nécessairement variable. A priori, il n'existe pas, pour un platelage, de taille minimum autre que celle en deçà de laquelle un homme ne peut plus se mouvoir aisément. Au-delà, le recours possible à des supports intermédiaires ne permet pas d'évaluer précisément un maximum, surtout pour les claies. Nous pouvons néanmoins, par la distance horizontale laissée entre deux boulines voisins, évaluer la longueur minimum de certaines surfaces de travail. A titre indicatif, les boulines étaient espacées de 1,6 à 2,5 m dans le bras sud du grand transept de l'église abbatiale de Cluny et de 1,2 à 3 m au chevet de la cathédrale Saint-Jean de Lyon, ce qui équivaut à des platelages d'environ 2 à 2,9 m à Cluny et 1,6 à 3,4 m à Lyon.

Les marchés

La fourniture des matériaux

- 18 A en juger par les éléments réunis, la fourniture des poutrelles, solives et planches se fonde dans celle, plus large, du bois d'œuvre. Du reste les précisions « *pro stagiis* » ou « *ad estagandum* » accolées à la désignation des pièces apparaissent plus comme une indication de destination que comme une donnée technique, une réelle caractérisation. La situation était alors fonction du lieu ; richesse ou pauvreté des forêts voisines, de la proximité ou non d'une voie navigable... A Champmol, les constructeurs utilisent le bois des forêts du duc de Bourgogne. Ils se fournissent dans un rayon d'une trentaine de kilomètres autour du chantier, mais le bois d'échafaudage provient en général des massifs les plus proches, en particulier de la forêt de Montuan, l'une des trois grandes forêts ducales, située dans la région de Vergy, à une quinzaine de kilomètres au sud de Dijon. Ce choix s'explique en grande partie par le coût élevé du transport terrestre qui représente, selon les cas, trois à cinq fois le prix de la coupe en forêt¹⁴.
- 19 L'échafaudage était, dans bien des cas, fourni par le commanditaire des travaux. Il s'agissait alors souvent d'un prêt ; les Franciscains d'Aix-en-Provence ne manquant pas, par exemple, de faire préciser, en 1509, lors du contrat de construction de la voûte de leur église, que « l'ouvrage fini, poutrelles et planches doivent rester audit couvent » (*lasqualas (fustas et taulas), perfecit lod obrage deian restar aid. convent*)¹⁵ Il pouvait s'agir de simples pièces de charpente récupérées sur le lieu même du chantier, comme ces « vieux bois » (*fustibus antiquis*) qu'un plâtrier est autorisé, en 1510, à tirer de la maison qu'il démolit, afin de les utiliser à l'échafaudage du nouveau bâtiment¹⁶ Ce souci d'économie n'était pas limité aux petits chantiers car les comptes de construction du Palais des Papes portent paiement de 16 sous à deux scieurs « pour le sciage du vieux bois du palais, lequel bois a été employé aux échafaudages de la grande tour » Cette pratique s'est¹⁷ poursuivie à l'époque moderne, ainsi qu'en atteste le remploi en boulin au XVIIe s., d'une pièce de charpente dans le clocher du prieuré de Montverdun.
- 20 Un approvisionnement relativement hétéroclite donc, d'autant plus que les échafaudeurs se voyaient parfois obligés de composer avec des pièces de dimensions imposées. Le prêt du bois n'était en effet consenti dans certains cas qu'à condition que la mise-en-œuvre se fasse, ainsi que le précisent les Frères Augustins d'Aix-en-Provence, en 1440¹⁸ « *sens rompre ni rosonhar* » - sans doute pour ne pas affecter la valeur marchande de leur bois ou en vue d'un remploi. C'est la même impression qui se dégage de certaines miniatures où les perches apparaissent comme de simples troncs vaguement ébranchés.

- 21 Il est difficile dans ces conditions de cerner le marché du bois d'échafaudage. Dans certains cas, nous nous trouvons face à une sorte de bricolage qu'il faut sans doute lier au caractère éphémère de ces constructions et que l'on retrouverait probablement dans la confection des tréteaux de fête ou d'autres ouvrages de ce type. Ramener tous les échafaudages médiévaux à des structures bricolées serait toutefois exagéré. Il n'est pour s'en persuader qu'à rappeler l'attention portée par le maître des œuvres de charpenterie du duc de Bourgogne à l'abattage des « perches » destinées à la Chartreuse de Champmol. Les textes indiquent en effet que les coupes avaient lieu sous sa direction et que les arbres étaient marqués et vraisemblablement vérifiés avant leur transport vers le chantier.
- 22 La direction de ce type de grand chantier, outre le fait qu'elle disposait d'autres moyens, ne raisonnait pas dans la même durée que le petit commanditaire ; il ne s'agissait pas du même provisoire. L'échafaudage pouvait représenter un investissement qui était rentabilisé sur un terme plus long. Les pièces de bois étaient alors l'objet d'un certain soin ; à Avignon, on les remisait après emploi dans la charpenterie du Palais, tandis qu'en hiver, les constructeurs des remparts de Pertuis (Vaucluse) rangeaient les leurs à l'Hôtel de ville et sous la halle (Sauze 1994, p. 145).
- 23 Dans un article récent sur « *l'espace des comptes de construction des Bernardins de Paris* » (Dautrey 1994), Ph. Dautrey a présenté une édifiante analyse de l'approvisionnement du chantier parisien, appuyée sur l'étude des comptes de Pons de Madières (1339-1342). Ce travail s'arrête en particulier sur les rubriques consacrées aux claies et aux « *gastons* ». Il met en évidence un marché qui s'étendait à une dizaine de kilomètres de la ville, se déplaçait, évoluait, dont les prix variaient en fonction de l'offre et de la demande, mais aussi du réseau qu'avait su, ou non, établir le maître d'œuvre, et de l'habileté de ce dernier à faire jouer la concurrence. En filigrane apparaît un monde de petits fournisseurs, d'intermédiaires aux pratiques commerciales souples, qui luttaient pour la rente que représentait la fourniture des milliers de claies que consommait annuellement ce type de gros chantier. La situation est, semble-t-il, assez proche à Dijon, où le chantier de la chartreuse utilise couramment plusieurs milliers de claies par an : 4666 en 1385, 2471 en 1386, 4504 en 1387... Elles sont généralement achetées à de petits fournisseurs établis dans la campagne environnante, avec qui les responsables des travaux traitent directement. Il est difficile cependant de parler d'un véritable marché des claies dans ce cas précis. Il s'agit plutôt d'un réseau de vendeurs occasionnels, sans doute des paysans auxquels le chantier fait appel au gré de ses besoins et pour qui la vente de ces fournitures devait représenter un gain important.
- 24 A bien des égards, la fourniture des liens est à rapprocher de celle des claies (à propos des liens, voir aussi la fin du ch. 3). Les cordes étaient achetées aux cordiers (fabricants ou revendeurs ?). A Dijon, leurs prix varient généralement entre 2 gros et 2,5 gros la douzaine. Les appellations relevées laissent entendre qu'on ne les fabriquait pas spécialement pour cet usage et, donc, que les échafaudeurs s'approvisionnaient sur un marché dont ils n'étaient pas le seul débouché.
- 25 Les achats d'échelles sont trop peu nombreux pour que l'on puisse prétendre traiter d'approvisionnement. Il semble que l'on ait pu se contenter de les louer, suivant une pratique assez répandue pour l'outillage ou les moyens de transport. Elles pouvaient également être fabriquées sur place.

Le coût des matériaux

- 26 A titre indicatif, nous présentons les prix (en deniers) de divers matériaux achetés « *pro stagiis* » avec, pour comparaison, le salaire quotidien moyen d'un manœuvre sur le même chantier à la même date.
- 27 Peut-on calculer le coût d'un échafaudage ? Nous disposons de prix et de salaires, mais les inconnues sont multiples. Combien de temps et de personnes fallait-il pour monter un échafaudage ? A-t-on employé des bois de récupération et pour quelle valeur ? De quel type était l'échafaudage construit, et de quelle taille ? A quel rythme les pièces étaient-elles remplacées ?... Autant de questions auxquelles nous ne pouvons pas répondre, ce qui fait qu'un nombre important de paramètres nous échappent pour apprécier d'éventuelles données chiffrées.

Le coût des claies à la chartreuse de Champmol

A titre d'exemple, nous avons rassemblé dans le tableau suivant (**fig. 19**) quelques données chiffrées extraites des comptes de la chartreuse de Champmol qui permettent d'apprécier la place qu'occupe la fourniture des claies sur l'ensemble des achats de bois du chantier au cours des cinq premières années de travaux.

Eric Husson

19- Claies : coût et proportion

Année	Quantité de claies	Prix au cent	Prix total	% par rapport au total des achats
1385	4666	26 g	110 f. 11g. 2 d.	77,70%
1386	2471	26 g	53 f. 6 g. 11 d.	55,10%
1387	4504	26 g	97 f. 6 g. 17 d.	19,10%
1388	100	26 g	2 f. 2 g.	0,55%
1389	807	26 g	16 f. 5 g. 6 d.	12,90%

Rapport entre les salaires et les matériaux en 1343

1- Palais des Papes

Manoeuvres = 20 deniers/jour

1 poutrelle de 12 m = 336 d

1 poutrelle de 8 m = 150 d

solivage = 30 d/m

dosses = 30d/m²

planches = 75d/m²

2- Chartreuse de Champmol

Manoeuvres = 1 gros (20 deniers)/jour

1 pièce de bois de 12,50m de long = 180 deniers

claire = 5 d/pièce

corde (longe) = 50 d la douzaine

corde (trait) = 5 d/pièce.

Philippe Bernardi et Eric Husson

- 28 A partir des sources réunies à ce jour, nous ne pourrions proposer qu'un ordre de prix très vague, établi à l'aide des dépenses effectuées en un temps relativement bref pour

une structure précise. Encore ne s'agirait-il là que de la valeur minimum d'un échafaudage, dont beaucoup de caractéristiques nous manquent.

- 29 Enfin, à l'époque moderne, et peut-être déjà au Moyen Âge, l'échafaudage pouvait se louer. C'est la solution qu'adopta le chapitre de Cavaillon pour réparer l'église de Cabrières, en 1653. Le compte de construction conservé porte en effet la mention du paiement d'un écu « pour le louage du bois pour faire les stagières et les faire porter au simetière »¹⁹. Cette somme paraît bien modeste, puisqu'elle correspond à cinq journées de travail d'un manoeuvre homme.

NOTES

7. Arch. Dép. de la Côte-d'Or, B 11670, f° 273v°.
8. Compte de Saint-Sauveur de Blois, Richel. 6215, f° 21v°, cité par F. Godefroy (Godefroy 1881-1902).
9. Datation par radiocarbone par A. Cura et L. Van Der Plaetsen ARCHEOLABS (réf. ARC95/R1316C).
10. Analyse dendrochronologique réalisée par Ch. Orcel et Ch. Dormoy, ARCHEOLABS (réf. ARC94/R1626D).
11. Arch. Dép. de la Côte-d'Or, B 116771, f° 9 : "*A Gilet Quatine sergent de monseigneur pour (...) aler querrer cloyes, oultre les tilles, et les faire venir audit champmol pour les alours et eschaffaux des diz ouvraiges (...)*".
12. Première et dernière planche découpée dans un tronc, qui conserve une face incurvée encore garnie d'écorce.
13. Arch. Vaticanes : I. E. 201. f° 14v.
14. La journée de charroi est payée entre 8 et 12 gros (1 gros = 20 deniers), alors que le salaire des charpentiers travaillant en forêt varie de 2 à 2,5 gros par jour.
15. Arch. Dép. Bouches-du-Rhône : 309 E 278. f° 174v°.
16. Arch. Dép. Bouches-du-Rhône : 309 E 422, f° 74.t
17. Arch. vat. : I.E. 201, f° 28 : "*pro fusta antiqua palacii ressanda quae fusta fuit posita in stagiis magne turris*".
18. Arch. Dép. Bouches-du-Rhône : 308 E 92, f° 178.
19. Arch. Dép. du Vaucluse : 4 G 38, f° 592.

Chapitre 3. Montage, ancrage et structure

- 1 L'installation de l'échafaudage se réalise en plusieurs phases qui consistent à mettre en place les trois éléments qui le constituent : montage des perches, ancrage des boulins et pose des platelages.

Le montage au sol

- 2 Tous les éléments de l'échafaudage sont soumis à des poussées verticales du fait du poids des matériaux qui le composent. Les montants doivent donc être dressés le plus verticalement possible, dans le même alignement et bien d'aplomb. Afin de compenser les divers poussées auxquelles la structure est soumise, il faut travailler à la compression simple, le moindre biais apportant des efforts parasites. Redescendre les charges pose donc des problèmes d'appui.

La préparation et l'installation au sol

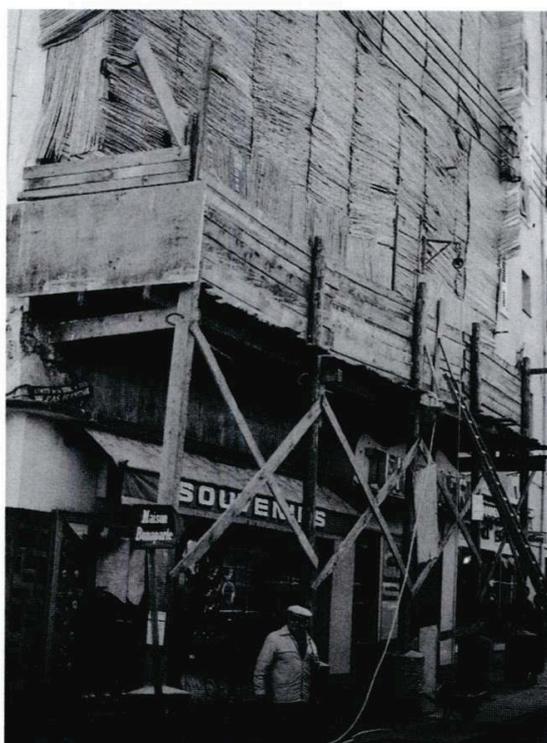
- 3 L'installation d'un échafaudage se fait sur « un sol de fondation apte à le recevoir », c'est-à-dire remis à niveau. Aujourd'hui, les notices de montage définissent strictement ces conditions d'installation : « les calages sont destinés à répartir le poids de l'échafaudage avec les charges d'exploitation et climatiques sur le terrain d'appui (Layher sd, p. 27). Ils sont définis après étude de la descente des charges et de la nature du sol ». Pour caler au sol, il faut éviter la superposition de matériaux et ne rien mettre de creux sous les étais. Les matériaux choisis doivent toujours être mis sur chant, car on reprend plus de charge sur cette section. Il est fortement préconisé l'utilisation de sacs de sable qui permettent sur un terrain non plan une meilleure répartition de la pression. Une fois les socles posés, l'embase est mise en place. « Les embases sont liaisonnées entre elles par les lisses et les traverses (ou moises) pour constituer la base de l'échafaudage ».
- 4 Ces contraintes ne peuvent être qu'identiques à celles du Moyen Âge. La base étant dressée, on peut alors installer les perches qui vont de ce fait tenir seules. Cette

première opération est aujourd'hui rendue possible, car toutes les pièces sont standardisées et parce que les perches choisies sont de petites dimensions (1 m, 1,50 m...). Elles se superposent par emboîtement. Cette installation est, à l'époque médiévale, plus délicate : la résistance des sols est mal connue, et les perches sont choisies pour leur grande dimension. La difficulté sera donc de les amarrer en les scellant au sol.

La mise en place des perches

- 5 Les techniques de calage sont diverses et ne laissent pas toujours de traces au sol.
- 6 Les empattements des fondations, les libages et les chaînages des grandes arcades (Cruas, Cluny, la platée antique de Sainte-Eugénie de Montbrison,...) sont autant de surfaces stables, planes et dures pour poser un échafaudage. Il suffit alors simplement de le caler avec un ou trois madriers.

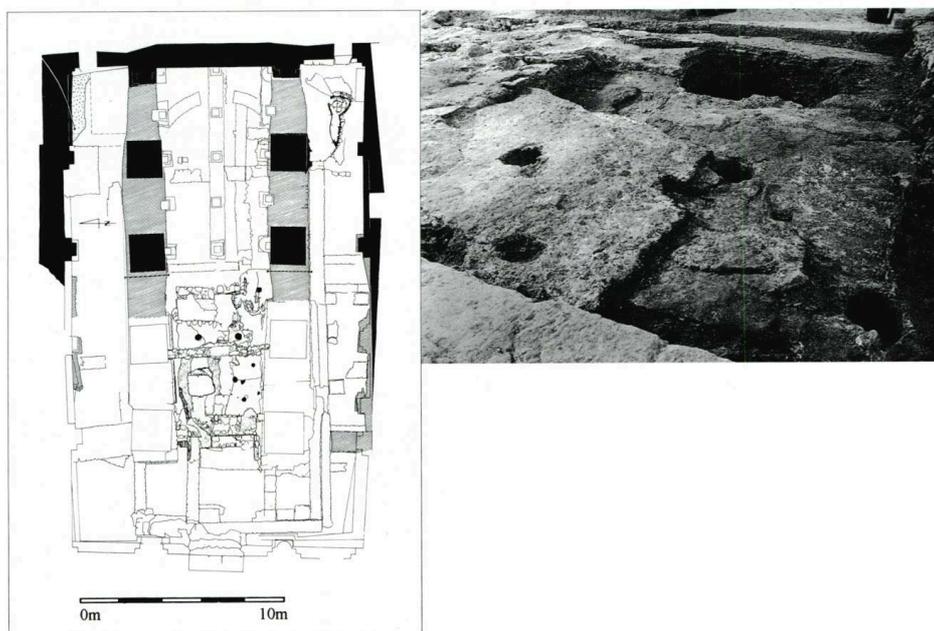
20- Ajaccio (20) : échafaudage destiné au ravallement d'une façade



- 7 Des exemples contemporains (**fig. 20**) montrent des perches ennoyées dans du sable humide contenu dans un récipient, bloquées en surface par une couche de mortier. Avec cette technique, le bâti plus souple peut bouger et jouer sans risque de rupture.
- 8 L'enquête menée sur le Forez nous livre des renseignements sur les pratiques courantes dans l'architecture domestique : « on ne faisait pas de trou pour la perche, elle était tenue légèrement inclinée vers le mur pendant qu'un autre attachait le bois (boulin) qui était posé à la moitié du mur »²⁰.
- 9 Enfin la fouille archéologique révèle, comme sur les chantiers de Lhuis dans le Bugey (Ain)²¹, ou de Cruas (Ardèche) un autre mode de calage. Les perches pouvaient être engagées dans des trous taillés dans les sols de propreté du chantier, en comportant

dans leur fond un ou deux galets de calage. A Cruas, les grandes arcades séparant la nef des bas-côtés reposent sur d'importants libages* qui présentent diverses orientations, résultat de trois campagnes de construction. Dans la nef centrale, les trous de perches ne s'alignent pas avec le parement qui les domine, mais se trouvent être dans le prolongement du libage de la campagne précédente. De cette dernière, il ne reste plus trace du chantier de construction, l'ensemble ayant été nivelé lors de l'édification de la tribune monastique à la fin du XIIIe s. Les trous de perches se répartissent en deux rangs et sont de différentes tailles (fig. 21). L'échafaudage au niveau des grandes arcades était donc indépendant du mur en construction, et son implantation était programmée bien en aval des murs en travaux.

21 - Cruas (07) : vestige du chantier de construction de la fin du XIe siècle



Relevé en plan des vestiges du chantier de construction fouillé dans la seconde travée occidentale de la nef de l'église abbatiale.

Parties hachurées : fondation des grandes arcades

Carrés noirs : bases des piles des grandes arcades

Des trous de perches (cf. la photo ci-dessus) sont aménagés dans un sol de propreté, qui est destiné à faciliter la circulation et le transport des matériaux. Ils correspondent à l'élévation de la grande arcade sud

- 10 Toujours à Cruas, la fouille a révélé un remarquable cas de haubanage*. Une série de petits orifices taillés en biais sont associés aux trous des perches. Ils résultent de l'enfoncement de contrefiches, qui par leur inclinaison laissent à penser qu'elles servaient à tendre selon un angle d'environ 45° et à fixer au sol un cordage venu des parties supérieures. Si les perches sont naturellement tenues dressées par fixation avec les boulins, quand on est au début de l'édification du mur, elles ne peuvent être maintenues que par un ancrage indépendant de celui-ci. Il suffit donc de les haubaner pour éviter qu'elles n'oscillent et n'abîment les maçonneries en cours de montage. Mais au niveau du sol, le mur en construction n'existe pas, on ne peut donc espérer maintenir les perches par de futurs boulins. C'est alors toute la partie de l'échafaudage

en avant du mur en construction, à l'air libre et donnant prise au vent, qui a été haubanée.

- 11 Enfin lorsque l'échafaudage est fixé au sol, il faut l'ancrer à l'ouvrage, car le travail des hommes sur les platelages génère des efforts horizontaux.

L'amarrage

- 12 Une structure rectangulaire (même une simple sapine*) est déformable, et les efforts horizontaux, dus aux vents, sont à reprendre. Il faut donc systématiquement trianguler, ou contreventer. Ainsi, que ces échafaudages soient à un ou deux rangs de perches, l'usage de montants verticaux va nécessiter un étayage par des perches obliques qui vont interdire le dévers de l'échafaudage, surtout lorsqu'il est très faiblement ancré au mur, ou dans le sol. L'ensemble devant résister à la compression et à la traction, ce sont les diagonales ou étré sillons qui, travaillant en traction, vont permettre de trianguler et feront la répartition indispensable. Si un étai reprend des charges qui lui sont apportées, un étré sillon reprend des charges déjà en place pour les redistribuer et recomprimer le terrain. « La rigidité de l'ossature est obtenue avec des diagonales », contreventement de façade. L'amarrage est effectué pour les poteaux d'extrémité, puis en quinconce, ou croix de Saint-André, à raison d'un poteau intérieur sur deux, ce qui permet de résister à un effort en traction de 300kg. Contreventer toutes les deux travées suffit, mais ces « diagonales » doivent être mises en place dans la même travée ou tour (Layher sd, p. 23), c'est-à-dire qu'elles doivent reporter les charges sur les mêmes perches afin d'éviter tout risque d'écartement. Elles évitent le flambage à la poussée, et permettent de buttonner*.
- 13 Aujourd'hui l'amarrage s'effectue par ancrage ou *vérinage**.

La mise en place des très longues perches à la lumière de l'expérience des Travaux Publics

S'il demeure impossible de connaître les problèmes de manutention concernant le montage des échafaudages, l'observation de la pose de supports en bois pour le transport aérien de l'électricité, permet de concevoir pour les échafaudages des perches d'une hauteur supérieure à 8 m.

Ces poteaux de bois varient dans leur taille entre 9 et 14m, et sont utilisés pour leur très grande résistance aux intempéries, et à la traction. Comme les perches des échafaudages médiévaux, ces poteaux de bois sont fichés en terre dans des trous dont le diamètre varie entre 0,70 et 1,20 m. Jusqu'à une hauteur de 10 m, les trous doivent nécessairement avoir une profondeur d'1 m. Au delà, ils s'enfonceront de 0,10 m pour chaque 0,50 m supplémentaire. C'est-à-dire qu'un poteau de 10 m de haut sera enfoncé dans un trou d'une profondeur égale à 1 m ; à 10,50 m, il s'enfoncera d'1,10 m ; à 11 m, d'1,20 m ; et à 11,50 m, d'1,30 m. Aucun calage de fond ou de côté n'est installé pour maintenir le support ou pour l'empêcher de s'enfoncer. Seules les parois de terre servent à maintenir le poteau qui est lui même calé avec de la terre. Sa profondeur suffit à le stabiliser. Il existe deux procédés pour dresser le support. L'un est purement manuel, le second fait appel à un petit palan monté pour l'occasion : dans le premier cas, une corde est fixée au sommet du poteau, et le pied est mis au bord du trou. Deux hommes sont nécessaires pour maintenir le pied, pendant que d'autres

soulèvent la tête et que les derniers tirent sur la corde. Cette manoeuvre nécessite au maximum l'emploi de six personnes. Une fois que le poteau a commencé de s'engager dans la fouille, un seul homme est nécessaire au maintien du pied, les autres tirant sur la corde pendant que le bois s'enfonce dans le trou. L'autre solution consiste à fabriquer un support en forme de X dont deux branches sont de plus grandes dimensions. Cet assemblage réalisé, une corde est attachée au-dessus du niveau d'équilibre du poteau, soit un peu plus de la moitié de sa hauteur totale. Le pied étant par son diamètre plus lourd, il entraînera le poteau à plonger dans la fouille. La base du support est ensuite présentée au bord du trou, et on positionne le X de l'autre côté. La corde est alors fixée sur sa moitié à la jonction des branches du X. Il suffira ensuite d'exercer une simple traction sur le bout de la corde restant pour que le poteau se lève. Seul le maintien du pied est devenu nécessaire afin d'éviter qu'il ne ripe. L'assemblage en forme de X doit être incliné au début du côté du poteau, pour, au cours de la manoeuvre, se pencher petit à petit du côté opposé. Cela demande beaucoup de coordination et d'efforts physiques, mais cela reste la seule solution en terrain difficile. Il semble donc possible d'imaginer au Moyen Âge que de telles dispositions aient pu être prises pour lever des perches de 14m et plus dans des bois résineux, d'autant plus que ceux ci étaient plus légers car non traités.

Patrice Roussel

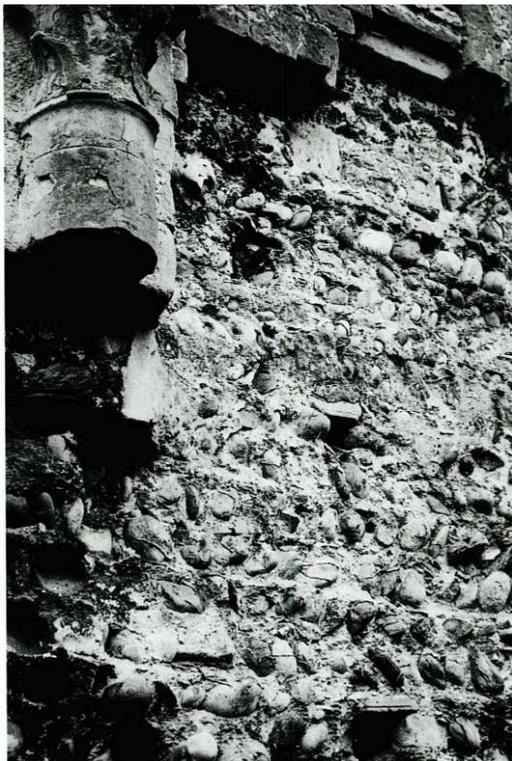
L'échafaudage encastré au Moyen Âge

L'ancrage dans l'édifice : le trou de boulin

- 14 Les échafaudages, contemporains montés indépendamment de la construction lors de restauration ou de ravalement, sont le plus souvent *spités** au mur. Ceux utilisés dans la construction en béton utilisent le système des équerres qui sont fixées ou *spitées* dans les murs en cours de montage par le biais de tiges filetées passées dans des trous, reprenant le système du boulin, et vissées à l'intérieur du mur. Lorsque la surface est bâchée, il faut tripler les ancrages.
- 15 L'ancrage de l'échafaudage médiéval est d'une autre nature : il se fait par l'intermédiaire du trou de boulin*. Ce dernier est intimement associé à la construction des murs et éléments d'architecture, tant sur le plan pratique que chronologique. Conçu à la fois comme ouverture sur le parement et comme fourreau dans la maçonnerie, il adopte des formes différentes en fonction de l'appareil des surfaces murales et des pierres utilisées pour le blocage interne. L'examen de ces deux sous-ensembles est déterminant.
- 16 Le fourreau est une gaine ou voie artificielle maçonnée et aménagée horizontalement dans le blocage du mur dans lequel le boulin est glissé. Sa dimension est supérieure à la section du boulin afin qu'on puisse introduire, puis retirer celui-ci en vue de son emploi éventuel. Il est constitué de trois parties (**fig. 22**) dont les caractéristiques dépendent de l'appareil.
 1. Deux piédroits latéraux forment un parement interne qui garantit le boulin du liant du blocage.
 2. Un couvrement de blocs choisis pour leur longueur et la planéité de l'une de leurs face ; ils forment une suite de linteaux qui protègent le boulin du blocage et assurent son amovibilité.

3. Un appui, où repose le boulin, qui n'est rien d'autre que la surface brute du blocage, qu'on a cherché à niveler au mieux, afin qu'aucune saillie ne gêne l'installation et le retrait des bois.
- 17 L'ouverture forme une entrée qui ne se résume pas à un simple trou, mais qui est le lieu d'une élaboration spécifique.

22- Valence (26) : vestiges de l'abbatiale de Saint-Ruf de Valence



TRAVÉE DE NEF CONSERVÉE DANS UNE HABITATION DU XVII^E S. LES MOELLONS DU PAREMENT AYANT ÉTÉ ARRACHÉS, IL EST POSSIBLE D'OBSERVER L'AMÉNAGEMENT DU FOURREAU DU TROU DE BOULIN DANS LE BLOCAJE DU MUR. DES LAUSES POSÉES À PLAT FORMENT LE COUVREMENT DE CE CONDUIT MAÇONNÉ.

Ouverture et entrée : technicité et culture technique

Cette notion d'entrée de trou de boulin, définie comme un lieu particulier du parement, peut paraître oiseuse et faire double emploi avec celle d'ouverture. Cependant, chacune de ces deux notions possède son utilité et une réalité propre, déterminée par le point de vue où se place le chercheur. La notion d'entrée a été mise au point par nécessité, après qu'eut été remarqué, sur des exemples significatifs par le nombre, la qualité du bâti et la périodisation, avec quels soins identifiables avait été réalisée l'ouverture de certains trous de boulin. Par exemple, dans un édifice majeur comme l'abbatiale de Payerne, des entrées visibles dans le massif occidental ont fait l'objet d'une mise au point originale, quoiqu'elle n'apporte rien sur le plan technique ou pratique : elles ont été dotées de véritables piédroits, deux moellons posés verticalement et correspondant à la hauteur des deux assises qu'ils coupent, alors qu'en règle générale, on se contente d'empiler les blocs correspondant à l'ouverture. A la cathédrale de Lyon, dans la partie romane du chevet, les entrées de trous de boulin, d'un tout autre type, ont été réalisées avec le même soin, et l'on constate que le très net affinement de la

mise en oeuvre et de la réalisation qui caractérise la fin de l'époque romane se retrouve aussi au niveau des entrées de trous de boulin, sans que cela puisse s'évaluer en termes de gain technique ou d'amélioration pratique.

La notion d'ouverture appartient donc au domaine technique et permet d'établir aisément une typologie. En revanche, celle d'entrée possède une dimension plus culturelle, dans ce sens qu'elle permet de définir la part de culture qui entre toujours dans l'élaboration d'une technologie. En d'autres termes, et cela est encore plus vrai au Moyen Âge que pour des époques plus « techniciennes » comme l'Antiquité impériale romaine ou le XXe s., dans une mise en oeuvre quelconque, architecturale par exemple, qui est d'abord déterminée par des réalités physiques (forces, résistances, équilibres,...), certains choix sont opérés non pas suivant des critères directement pratiques (on agit ainsi pour économiser le travail, la matière, etc.), mais selon une logique économiquement plus coûteuse et pour un résultat qui n'apporte aucune amélioration d'ordre technique, voire qui va à rencontre de nécessités pratiques. Le phénomène est bien caractérisé lorsque, face à un problème donné, les différentes solutions apportées dessinent une typologie géographique bien nette.

C'est ce qu'on relève dans le domaine des entrées de trou de boulin, lorsqu'on étend largement l'analyse sur le plan géographique. En effet, ces entrées sont habituellement et nécessairement quadrangulaires : on décale un bloc dans une assise ou l'on évide une forme parallélépipédique-rectangle dans un angle ou une face d'un bloc pour réaliser facilement une gaine régulière. Mais quelques contrées montrent une mise en oeuvre plus originale. C'est le cas, par exemple, de l'Italie du sud ; dans les monuments romans, on reconnaît assez systématiquement un type d'entrée « en meurtrière » : obtenues par décalage de blocs dans un moyen appareil, ces entrées prennent une forme très étroite, mal adaptée à des boulins réguliers qu'il faut caler, alors qu'on pratique couramment, dans ce type d'appareil, des échancrures en angle ou en face. Le cas est encore plus net dans l'ouest de la France : les monuments romans montrent des entrées en demi ou en quart de cercle, tout à fait caractéristiques ; or, de telle formes sont mal adaptées aux boulins, qu'ils soient de section carrée ou circulaire (cf. *infra*, Saint-Pierre d'Excideuil ou Saint-Nicolas de Civray). Ces exemples mettent en évidence des pratiques régionales : il faut alors parler de culture technique.

Nicolas Reveyron

L'adaptation des boulins au fourreau

- 18 Les ouvertures étudiées sont de section quadrangulaire. Il existe toutefois des exceptions comme, par exemple à la cathédrale Saint-Jean de Lyon, où l'on peut lire une position inhabituelle de certaines ouvertures au-dessus d'un rampant, directement sur un arc ou à la jonction de deux arcs, ce qui a contribué à leur donner une forme de trapèze à côté arrondi ou de triangle sur pointe. De même, à la cathédrale de Die, on a relevé des entrées où les côtés supérieurs ou inférieurs sont nettement arqués. On peut alors s'interroger sur la technique de calage, et sur la section du boulin : était-elle quadrangulaire ou étaient-ce des rondins ? S'il existe des boulins de section circulaire, les ouvertures adaptées font défaut. Cependant, l'emploi de rondins comme boulins est

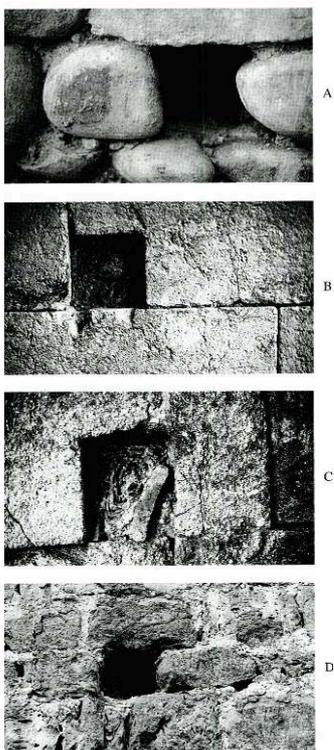
attesté par l'iconographie et par l'archéologie. Ainsi, à la Tour des Montmayeur d'Aimé, c'est un rondin (0,06 - 0,065 m) qui était engagé dans un trou carré (0,12 x 0,12 m)²².

- 19 Comme à Die, la cathédrale de Lyon a fourni des témoignages probants de même section (0,10 x 0,10 m en moyenne) : l'un des trous de boulin, maçonnés dans le triplet oriental du croisillon sud, a conservé une bavure du mortier de pose où se sont moulés l'arête et deux côtés du boulin ; au chevet plat de la chapelle sud du choeur, le trou de boulin qui jouxte la rose est encore obstrué par un tronçon de bois de section carrée, exactement ajusté au fourreau ; même si rien n'atteste son appartenance à l'échafaudage du chantier de construction d'origine, c'est un des rares témoignages de section quadrangulaire retrouvé *in situ*. Comme à Aime, dans l'église de Saint-Romain-le-Puy (Forez), un boulin de section circulaire a été repéré dans le parement extérieur du mur de l'absidiole nord. Bien que le fourreau soit de section carrée, le négatif du boulin pris dans le mortier de calage dessine une forme circulaire. Ces exemples ne sont pas strictements régionaux, et se rencontrent sur d'autres sites : Saint-Pierre d'Excideuil (Charente), Malles dans le Haut-Adige, dans l'*aula* carolingienne de Doué-la-Fontaine²³. Cette formule a donc existé très tôt.

Le trou de boulin et l'appareil

- 20 L'intégration de l'entrée dans les assises de la construction dépend du type d'appareil en usage : l'ouverture est, soit bâtie par décalage d'un bloc dans l'assise (**fig. 23**), elle est alors dite maçonnée*, soit, dans les cas du moyen et du grand appareil, taillée dans un angle ou une face d'un bloc du parement, elle est alors dite façonnée*.

23- Typologie des entrées de trous de boulin dans du petit et moyen appareil

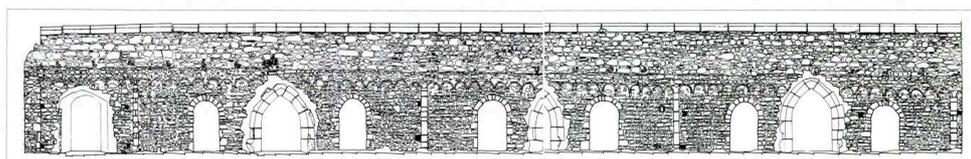


**A) ST PAUL DE VARAX (01) : APPAREIL MIXTE EMPLOYANT ICI LE GALET.
 B ET C) CATHÉDRALE DE DIE, (26) : TROU DE BOULIN FAÇONNÉ (ANGLE INFÉRIEUR GAUCHE ET PARTIE MÉDIANE DU LIT DE POSE)
 D) TOUR D'ALBON (26) : TROU DE BOULIN MAÇONNÉ**

Trou de boulin et petit appareil

- 21 Dans un appareil de moellons ou de matériaux de ramassage, l'entrée du trou de boulin est du type maçonné. Un vide est laissé par le décalage de deux moellons dans une assise, parfois sans tenir compte des joints verticaux de la précédente. C'est la pierre de l'assise supérieure qui constitue le linteau, et qui porte sur les deux moellons latéraux, parfois disposés en boutisse pour former les piédroits. Dans les matériaux de ramassage, on utilise pour ce linteau, un moellon de dimensions supérieures. Le calage latéral des trous est aménagé à la demande par l'empilement de petits moellons cassés posés sur chant ou de simples galets en épi (Saint-Jean-de-Maurienne) (fig. 24). Une forte épaisseur de mortier peut combler un vide au-dessus d'un calage de hauteur insuffisante. Au massif occidental de Moûtiers-en-Tarentaise, on relève un piédroit obtenu par un empilement de petits blocs de schiste délités noyés dans le mortier.

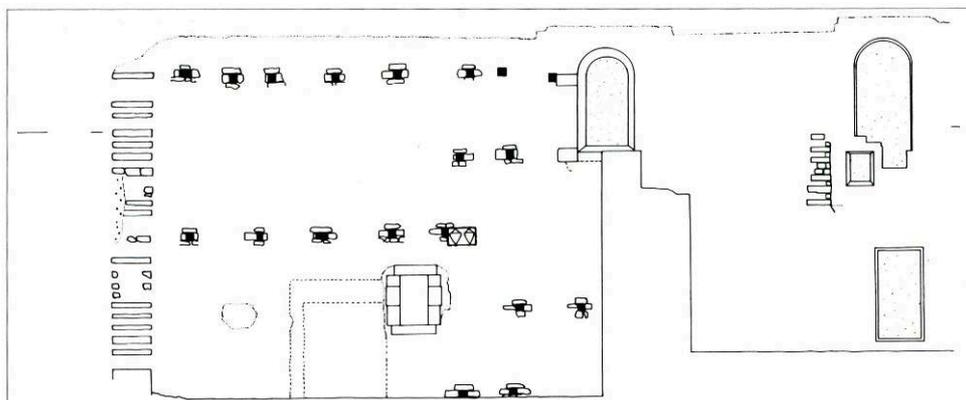
24- Saint-Jean de Maurienne (73) : cathédrale Saint-Jean-Baptiste



ÉLEVATION EXTÉRIEURE DE LA FAÇADE SUD DE LA NEF, AVEC LA POSITION DES TROUS DE BOULINS (EN NOIR SUR LE DESSIN)

- 22 Une taille régulière des matériaux va de pair avec un effort de régularisation des dimensions du trou de boulin et avec l'emploi de moellons de choix pour leur entourage. Il semble que le soin apporté à la réalisation de ces entrées est à mettre en rapport avec la qualité technique du chantier. Pour la construction d'un monument de prestige, une importante infrastructure financière est mise en place ; lui correspond une organisation matérielle et humaine qui fait appel à une technique de haut niveau : on reconnaît la qualité de la mise en oeuvre aussi bien au niveau général de la construction que dans les détails. C'est le cas des échafaudages et des entrées de trous de boulin.
- 23 La hauteur de l'ouverture varie en fonction de celle de l'assise, et de ce fait, elle dépend des matériaux employés. Le choix de l'appareil se révèle donc contraignant : les hauteurs inférieures à 0,12 m et supérieures à 0,22 m sont très rares ; dans les édifices étudiés, la moyenne se situe autour de 0,14 m (**fig. 23**). La largeur du trou peut davantage tenir compte de celle du boulin utilisé. A Saint-Honorat-des-Aliscamps (**fig. 25**), cet écart (0,11-0,25 m) reste indépendant de la hauteur des assises (0,13-0,23 m) et ne varie qu'en fonction de la longueur des moellons formant linteau.

25- Arles (13) : Saint-Honorat de Aliscamps, mur gouttereau sud de la nef découverte, face nord



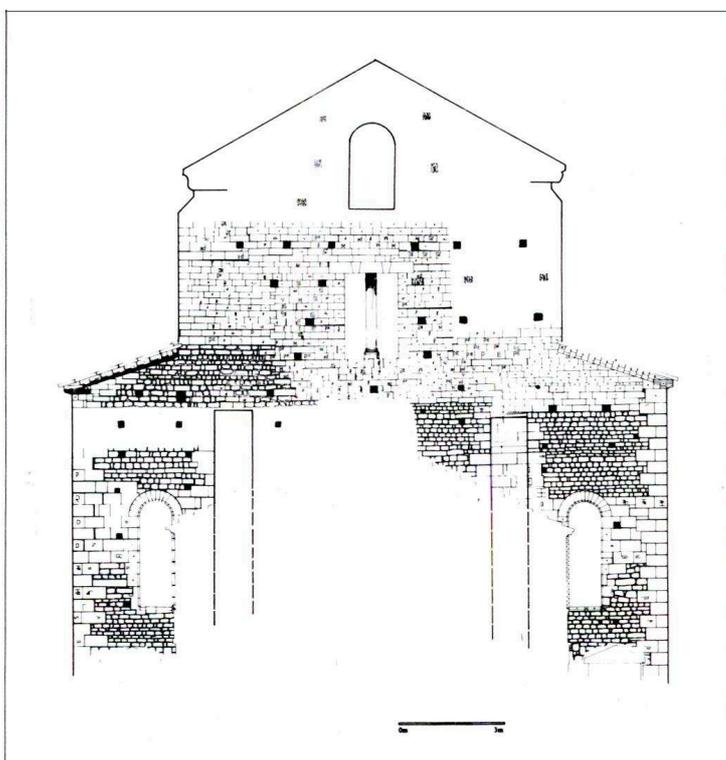
- 24 Dans le détail, les variations autorisées par cette structure, simple d'apparence, s'avèrent complexes et ne peuvent être toutes décrites. Par exemple, la dimension moyenne des trous de boulin peut varier selon l'emplacement dans la construction : à Saint-Jean-de-Maurienne, la section des trous de boulin devient de plus en plus importante selon une progression vers l'est. En règle générale, un équarrissage plus régulier des pièces de bois implique un effort de régularisation des dimensions du trou de boulin, qui passe par l'emploi de moellons de choix pour leur entourage.

Trou de boulin et *opus quadratum*

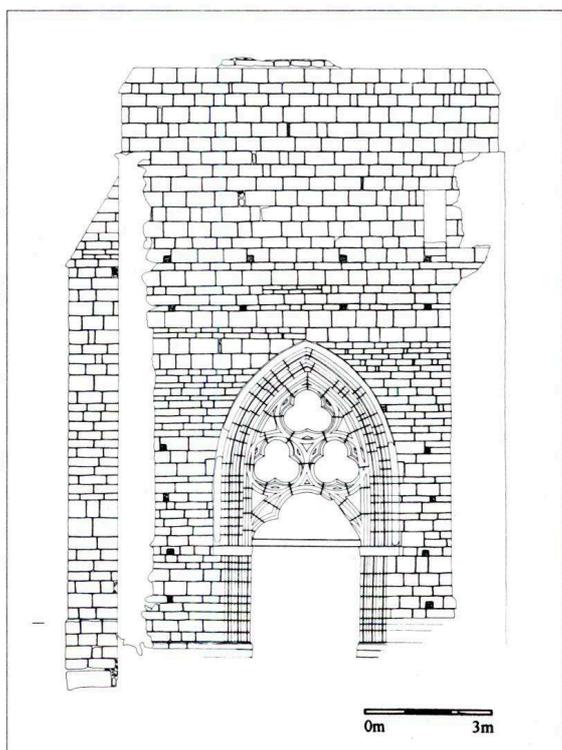
- 25 Dans la grande majorité des édifices étudiés en moyen et grand appareil, l'entrée du trou de boulin est du type façonné. Taillée dans un angle ou une face, elle se situe soit dans la partie supérieure du bloc (dans le lit d'attente), soit, le plus souvent, dans la partie inférieure (dans le lit de pose).
- 26 Il semble, d'après ce que nous avons pu analyser, que dans ces types d'appareil, une différence radicale de conception oppose deux périodes stylistiquement bien définies. Les ouvertures romanes, du moins le *corpus* de celles que nous avons observées (cathédrales d'Arles (**fig. 26**), de Lyon, de Saint-Paul-Trois-Châteaux ; abbaciales de

Cluny, de Léoncel, de Cruas, etc.) adoptent une forme quadrangulaire proche du carré dont les côtés mesurent de 0,08 à 0,16 m environ²⁴. A l'inverse, les ouvertures gothiques étudiées sont nettement rectangulaires ; elles présentent des dimensions très variables, y compris dans le même bâtiment, les longueurs pouvant atteindre jusqu'à 0,25/0,30 m. Dans les édifices romans, les dimensions des ouvertures composent d'une manière générale des ensembles homogènes : les calibres rencontrés semblent avoir été adoptés pour l'ensemble du bâti concerné et n'admettent que de faibles variations. Celles observées à Sainte-Eugénie de Montbrison (**fig. 27**) sont, pour cette raison, intéressantes : les dimensions des ouvertures façonnées s'allongent en fonction de la disposition de celles-ci sur le bloc. Taillés dans un angle de la pierre, les trous mesurent 0,16 x 0,16 m, et sont échancrés sur une face ; légèrement surdimensionnés, ils mesurent 0,18 x 0,18 m. L'utilisation conjointe du petit et du grand appareil dans le même bâtiment n'influe pas sur les caractéristiques du trou de boulin : dans le grand transept de Cluny et dans la partie inférieure de la nef de Saint-Trophime d'Arles, le type façonné du grand appareil coexiste avec les trous de boulin maçonnés du petit appareil. Leurs dimensions sont sensiblement identiques. De même, un trou de boulin traversant peut présenter les deux types d'ouverture en fonction des appareils de chaque parement.

26 - Arles (13) : Saint-Trophime, façade occidentale, parement extérieur



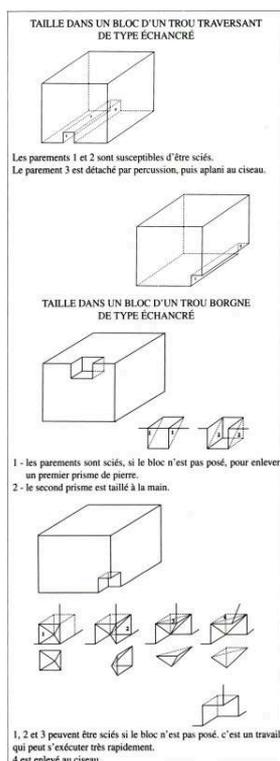
27- Montbrison (42) : chapelle Sainte-Eugénie de Moingt, façade occidentale



- 27 Les dimensions de ces entrées sont équivalentes à celles des trous maçonnés. Mais il existe des exceptions présentant de petites sections, autour de 0,5/0,6 m de côté pour 10/20 cm de profondeur. Il s'agit non pas d'aménagements ponctuels, mais d'ensembles organisés dans un parement mural. Deux exemples drômois en témoignent : celui visible dans la façade de l'abbatiale de Léoncel et un second autour de la porte principale percée à la base du donjon ouest de Chamaret²⁵.
- 28 Les entrées de type façonné ont probablement été taillées à la demande, avant la pose du bloc, en fonction de trois exigences :
- l'insertion du bloc dans l'assise ;
 - l'alignement vertical de la perche ;
 - la nécessité d'avoir un fourreau traversant qui mette parfaitement en correspondance les ouvertures sur les deux parements d'un même mur.
- 29 Dans le grand et le moyen appareil, les trous de boulin relèvent donc de la taille de pierre. Le tailleur peut implanter le trou de boulin soit dans un angle du bloc, soit sur le côté inférieur (ou supérieur) de celui-ci. Dans ce premier cas, le percement est relativement aisé, puisque l'opérateur ne doit en tailler que deux côtés, les deux autres étant formés par des blocs adjacents. Dans de la pierre tendre (**fig. 28**) deux faces sont sciées (utilisation de la scie ou de la sciote à joint, (Bessac 1986, pp. 222-230), et l'on détache un parallélépipède de pierre. Dans le second cas, trois côtés sont à façonner²⁶ dans le bloc et l'angle minimum de travail n'est plus que de 45°. Si le trou est traversant*, deux côtés sont sciés depuis le lit de pose. Un simple choc sur les deux parements du bloc décroche la troisième face du trou qu'il faudra alors régulariser au ciseau manipulé aisément selon un angle de 90° minimum. S'il n'est pas traversant, il faut aménager un fond : les arêtes sont marquées puis les faces sont sciées pour enlever dans « le gras »²⁷ un prisme triangulaire. Le prisme restant est « vidé » à la main à l'aide

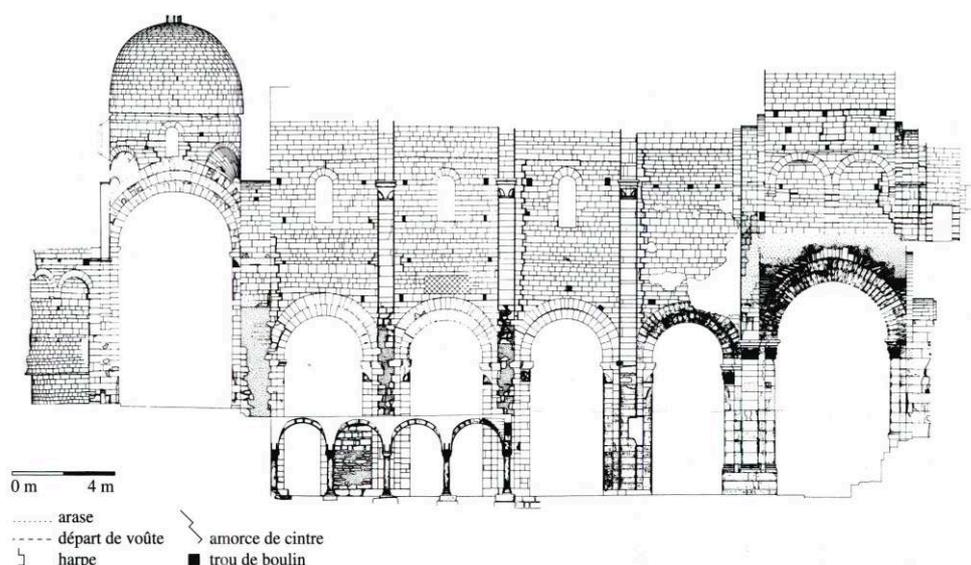
d'un ciseau ou éclaté à la broche ou au bec d'âne. L'échancrure sur le côté inférieur ou supérieur représente un travail plus long et un peu plus difficile, si bien que le choix de cette implantation, qui forme à peu près la moitié des ouvertures des trous de boulin observés, devait être justifié par des raisons suffisamment contraignantes.

28- Taille d'un trou de boulin borgne et d'un trou traversant dans un bloc de moyen appareil



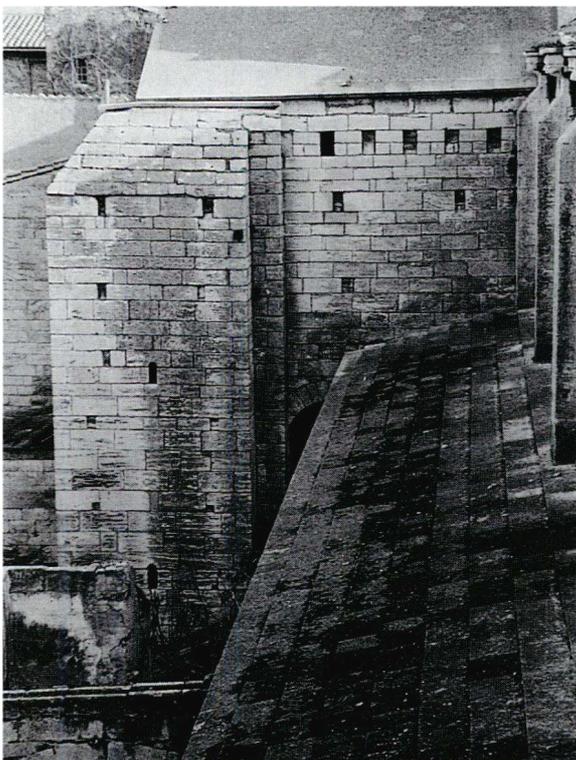
- 30 Cette technique est employée dans le second quart du XIIe s. sur la façade méridionale du transept de Saint-Paul-Trois-Châteaux, à Saint-Trophime d'Arles et à Cruas. A la cathédrale Saint-Jean de Lyon, on a des exemples de trous obtenus par juxtaposition de deux blocs échancrés face contre face. Néanmoins toutes ces opérations peuvent être rapidement effectuées. Si l'on utilise de la pierre dure, il faut la tailler totalement à la main.

29- Cruas (07) : élévation méridionale de la nef de l'église abbatiale de Cruas



- 31 Plus rares sont les cas où les trous de boulin sont en réserve*, comme dans la nef de Cruas (**fig. 29**), et dans la partie supérieure de la nef de Saint-Trophime d'Arles. Dans le moyen appareil, ou dans les élévations à un seul parement (en parpaing), les ouvertures sont des réserves ménagées par la suppression d'un moellon dans l'assise du mur. Les sections sont alors plus importantes, plus hautes que larges, que celles des trous échancrés. Ainsi à Sainte-Eugénie de Montbrison (**fig. 27**), dès que l'entrée mesure 0,24 m de hauteur et plus, on utilise les trous en réserve. Dans la partie supérieure du transept de Saint-Trophime d'Arles (vers 1100) (**fig. 30**), de tels trous de boulin ressemblent aux ouvertures qui éclairent les escaliers logés dans les contreforts angulaires du même transept. Leurs conduits, intégrés dans un assisage régulier, forment ainsi des boutisses en négatif à proximité des chaînages angulaires, et leur position se réfère souvent aux carreaux voisins des appareils d'angle en besace, assurant ainsi une certaine régularité dans la succession horizontale et la superposition verticale.

30- Arles (13) : Saint-Trophime, vue du mur occidental du bras nord du transept



Trou de boulin et appareil mixte

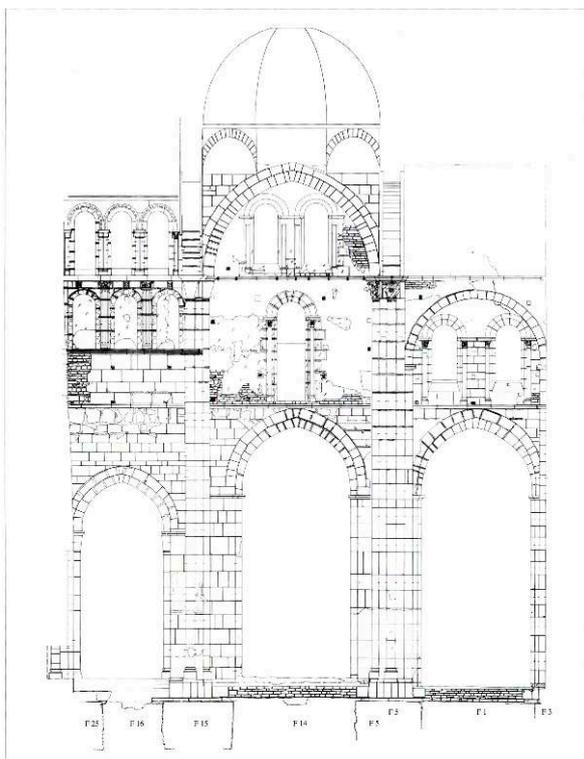
- 32 L'appareil mixte est d'un usage fréquent à l'époque romane. A Saint-Paul-de-Varax (Ain), (**fig. 31**) les chaînes d'angles ont été montées en pierre de taille selon la technique du carreau-boutisse, et les parements réalisés en galets roulés. Ces derniers sont disposés sur un lit de mortier, la queue étant prise dans l'épaisseur, la tête (tête de chat) apparente en parement.

31- Saint-Paul-de-Varax (01)



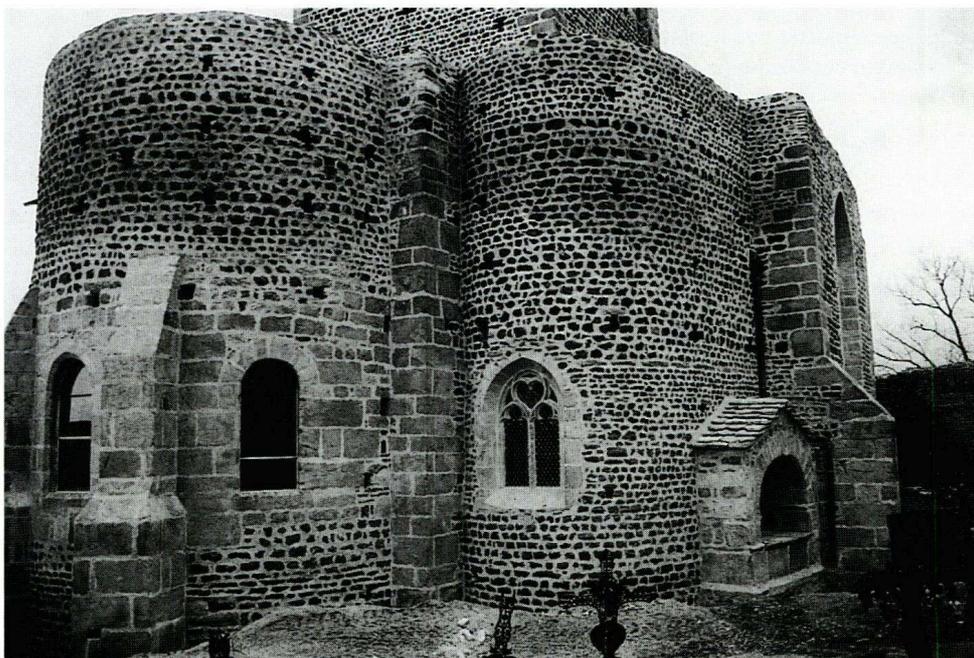
- 33 Un seul alignement de trous de boulin a pu être observé : ils sont de type maçonné, et s'organisent en fonction de la chaîne d'angle. L'assise qui reçoit les trous de boulin s'aligne avec le lit de pose d'une pierre de taille posée en boutisse. S'il ne faut pas aller jusqu'à parler de calepinage* dans ce type d'appareil, l'ensemble reste simplement pensé, réglé et organisé.
- 34 Un autre cas de figure est présenté par les murs dont les deux parements sont montés différemment : pierre de taille d'un côté et moellon de l'autre, à Cluny par exemple (**fig. 32 et 85**), et à Saint-Trophime d'Arles. Sur la façade de Saint-Trophime d'Arles (**fig. 26**), des rangées horizontales de trous de boulin traversent un raccord oblique où le petit appareil, au-dessous du rampant latéral nord, rencontre le moyen appareil du côté sud. Il en va de même pour l'appareil mixte qui lie des assises de moellons, utilisées pour la construction des murs, aux chaînages d'une ossature et d'ouvertures en pierre de taille. La différence d'appareil, dans le même mur ne change rien à l'adaptation de l'échafaudage à boulin traversant.

32. Cluny (71) : abbaye, transept sud élévation intérieure des travées 1, et 3 du mur oriental



- 35 La disposition des trous de boulin extrêmes d'une rangée horizontale à proximité des éléments bornants, comme un contrefort ou un chaînage d'angle, oblige parfois à les tailler dans un de ces blocs du chaînage. Dans la nef de Saint-Trophime d'Arles, les trous de boulin des extrémités d'une rangée voisinent avec les chaînages des piles et des angles. Comme les piliers et - jadis - les piles latérales elles-mêmes, les chaînages sont montés en grande partie avec des pierres dont la hauteur standardisée imposait un nivellement des assises du mur en fonction de celles du moyen appareil.
- 36 Le rapport du trou de boulin à l'appareil mixte est aussi tributaire de la mise en oeuvre générale de la construction et des choix pratiques de matériaux et de circulation qui ont influé sur le type d'échafaudage. Au chevet de l'église priorale de Montverdun (**fig. 33**), les trous disparaissent totalement de l'abside à la hauteur des fenêtres, partie élevée en moyen et grand appareil de granit. La position des trous de la première rangée exclut l'hypothèse qu'on ait assis l'échafaudage dans l'embrasure des fenêtres. Au-dessus du niveau des ouvertures, une rangée complète de trous de boulin en partie alignés sur ceux des assises basses, prouve qu'on a implanté, à nouveau, un échafaudage encastré, en aménageant des trous supplémentaires pour probablement réduire les portées entre les boulins. Si le bardage des pierres de grandes dimensions a nécessairement demandé un engin de levage, la réalisation des portions en grand appareil paraît avoir été exécutée depuis l'arase du mur en construction. Ce n'est donc pas seulement un problème de levage et de circulation, c'est aussi, et avant tout, une affaire de manutention. Dans du grand appareil, les bardeurs circulent sur l'épaisseur du mur, et la pose de blocs se règle à la pince, des cales servant à rétablir l'horizontalité.

33- Montverdun (42) : prieuré du Pic de Montverdun le chevet



Trou de boulin et maçonnerie : le rôle des mortiers de chaux dans la mise en oeuvre du chantier médiéval

Le mortier de chaux, surtout hydraulique, lie les blocs entre eux et bouche les trous. Il permet d'obtenir un ensemble homogène qui barre le passage de l'eau et de l'air au travers du mur construit. Le mortier joue donc un rôle :

- d'isolant, car les deux côtés du mur deviennent indépendants l'un de l'autre,
- de régulateur, car il contrôle les échanges hygrométriques et permet ainsi au mur de respirer.

Il peut jouer, en outre, un rôle mécanique dans la construction : dans le cas d'un mur de moellons, le mortier de sable et de gravier donne une cohésion à l'ensemble. Il apporte une souplesse mécanique dans l'imbrication des blocs au moment de la mise en oeuvre et au cours du séchage. Dans le cas d'un mur de pierres de taille, le mortier, beaucoup plus fin (à base de sable tamisé ou non, mais de granulométrie fine), permet d'ajuster les blocs au moment de leur mise en place, et d'obturer les joints fins.

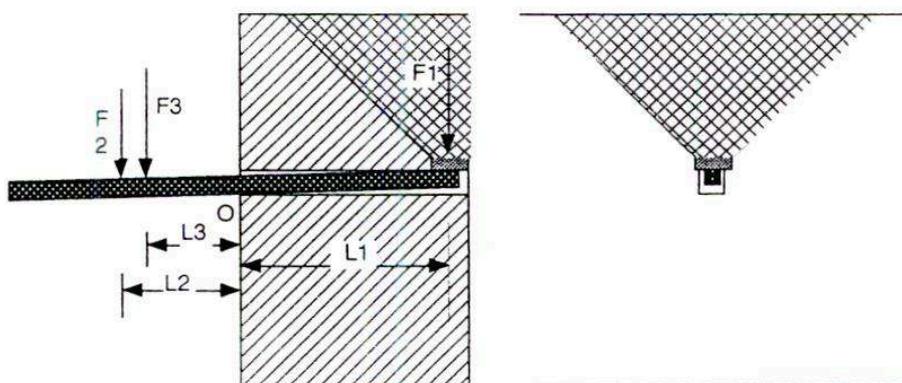
La prise d'un mortier de chaux n'est pas instantanée. Le mortier n'intervient donc pas dans la solidité du mur au moment de sa construction. Le séchage et la prise par le phénomène de carbonatation, se fait très progressivement, à l'échelle de plusieurs années. La prise du mortier de chaux est une conséquence liée au temps écoulé et non, comme pour les ciments hydrauliques, une propriété élémentaire dans la construction. On compte aujourd'hui en moyenne 40 jours de prise à 100 % pour un liant hydraulique (ciments et chaux hydrauliques), laps de temps pendant lequel le mur reste fragile. Un mortier hydraulique qui subit des perturbations un jour ou deux après sa mise en place ne se ressoudera plus.

La chaux grasse ou aérienne présente un mode de prise différent (carbonatation : $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (chaux éteinte) + CO_2 (gaz carbonique)). Si l'usage de la chaux hydraulique est bien établi pour l'Antiquité, c'est loin d'être le cas pour l'époque

médiévale où l'on utilise massivement la chaux grasse. On est donc amené en permanence à marcher sur une maçonnerie qui n'aura pas fait prise. Si cela n'a pas de conséquence pour le blocage du mur, le risque de désolidariser les parements, surtout dans le petit appareil, persiste. Seule la grande largeur du mur permet la circulation et le dépôt. Le temps de prise étant long, la moindre perturbation sera sans suite grave car la liaison n'est pas encore assurée.

Bénédicte Bertholon

34- Bois travaillant en porte à faux et charges en présence



Charge maximum supportée par le platelage d'échafaudages encastrés

Paramètres et valeurs retenus pour l'établissement de cette note de calculs (fig. 34)

Densité de la maçonnerie : 2,5

Épaisseur du mur : 1,00 m

Maçonnerie en petit appareil, hauteur des assises : 0,10 m

Dimension de la pierre de linteau : 0,20 m x 0,20 m

Hauteurs successives des platelages : 1,00 m

Espacement horizontal des bois encastrés : 2,00 m Charges (exprimées en kg, unités obsolètes) :

- Poids d'un homme immobile : 80 kg
- Poids d'un homme en mouvement (saut) : 300 kg
- Pierres 200 l. soit 500 kg répartis
- Divers : bois, mortier : 100 kg

Largeur du platelage : 1,00 m

Les charges fixes seront considérées comme étant appliquées au centre du platelage, soit à 0,50 m du mur.

La charge mobile (saut d'un homme depuis le mur en construction) sera appliquée à 0,40 m du mur.

Le boulin ne peut travailler comme une véritable poutre encastrée : le jeu impliqué par l'obligation de le retirer après usage et le tassement de la maçonnerie va le placer dans la situation d'une poutre travaillant en porte-à-faux sur deux appuis. Côté platelage, nous considérerons que l'appui sur la maçonnerie s'effectuera au

nu du parement et, à l'opposé, que l'appui s'exercera au centre de la pierre-linteau.

L'équilibre du dispositif est réalisé lorsque le produit des charges fixes et mobiles par leurs distances au point d'appui est inférieure au produit de la charge de maçonnerie par sa distance au point d'appui :

$$(F2 \times L2) + (F3 \times L3) < F1 \times Ll.$$

La résistance du mortier à la traction étant nulle, seule la charge de la maçonnerie sera prise en compte. Cette charge sera considérée comme un tronc de pyramide inversé le volume V, l'angle avec la verticale étant (pour simplifier les calculs) de 45°.

Le poids de maçonnerie sera donc égal à $V \times 2,5$

Le tableau présenté ci-dessous fait apparaître le résultat en fonction des hauteurs d'assises.

Épaisseur H	Vol (m3)	Masse (t)	Couple (t x m)
0,10	0,02	0,04	0,04
0,20	0,05	0,13	0,12
0,30	0,11	0,27	0,24
0,40	0,19	0,47	0,42
0,50	0,30	0,75	0,67
0,60	0,44	1,11	1,00

Un calcul simple permet de retenir pour $(F2 \times L2) + (F3 \times L3)$ une valeur de 460kg x m

En comparant cette dernière à celles du tableau, nous voyons que l'équilibre est obtenu lorsque la hauteur maçonnée (celle du linteau comprise) est de 0,50 m soit 5 assises. Pour parvenir à cette hauteur, le maçon devrait donc avoir réalisé une hauteur de mur de 1,50 m depuis le platelage inférieur. Compte tenu de l'épaisseur du mur, ceci représente une difficulté telle, qu'il faudrait remettre en cause l'hypothèse même de ce type d'échafaudage.

Le calcul n'intègre pas de coefficient de sécurité²⁸. L'adoption d'un tel coefficient ne ferait que rendre les choses encore plus irréalistes.

Le tableau ci-dessous reprend les mêmes calculs en prenant un linteau de 0,30m x 0,30m. L'équilibre est obtenu à partir de 4 assises, mais cela ne modifie pas fondamentalement les problèmes d'exécution.

épaisseur H	Vol (m3)	Masse (t)	Couple (t x m)
0,10	0,02	0,06	0,06
0,20	0,07	0,17	0,15
0,30	0,14	0,34	0,31
0,40	0,23	0,58	0,52
0,50	0,36	0,90	0,81
0,60	0,52	1,30	1,17

La charge de 300 kg, correspondant à celle d'un homme sautant sur le platelage est très pénalisante dans ce calcul, mais les conditions d'exécution (allées et venues du platelage au sommet du mur) en font une donnée réaliste. Bien que tous les paramètres n'aient pas été étudiés, il semblerait que ce type d'échafaudage, utilisé comme plate-forme de travail, s'apparente davantage à une vue de l'esprit qu'à une réalité. Il serait en effet surprenant qu'une disposition courante puisse cumuler à la fois une gêne dans l'exécution du travail, et une telle précarité en matière de sécurité. L'échafaudage encastré tel qu'il est envisagé dans cette note, ne remplit pas les conditions propres à en faire une véritable plate-forme de travail d'édification. Son usage apparaît davantage adapté à des phases de travaux pour lesquelles il n'existe plus de risques de bascule : finitions (joints, enduits, peintures...) et *rééchafaudement*.

Christian Le Barrier

La mise en place des boudins

- 37 Dans ce domaine encore, les renseignements fournis par les trous de boudin sont suffisamment précis pour autoriser une approche exacte des problèmes. On doit, pour bien comprendre cette mise en œuvre, examiner de près les divers plans que peuvent prendre les fourreaux où se logent les boudins. C'est, en effet, dans le rapport du trou de boudin avec la structure de l'échafaudage qu'apparaissent les données techniques de la mise en place des boudins.

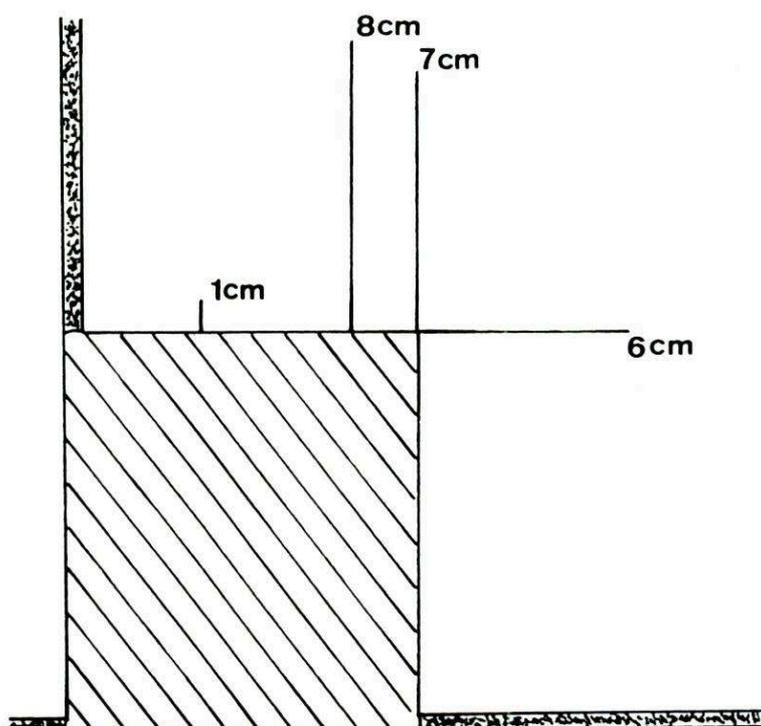
Montage à façon ou calepinage ?

- 38 La précision dans l'implantation des trous de boudin a soulevé la question du calepinage. La connaissance que nous avons du chantier médiéval nous en a fait rejeter tout de suite l'idée, mais non la question. Dans *l'opus quadratum*, l'ouverture du trou de boudin doit être ménagée dans le bloc en fonction de la place qu'il occupera dans l'assise. Elle se situe exactement à l'intersection du bloc et de la perche sur laquelle le boudin sera fixé. Certes, la relative flexibilité du système autorise une marge d'erreur appréciable : d'une part, la perche et le boudin peuvent s'adapter avec une certaine souplesse au positionnement erroné du trou de boudin ; d'autre part, l'utilisation de chandelles* permet de repositionner le bloc dans lequel l'entrée a été mal localisée.

39 Parmi les corrections de position et les repentirs sur le chevet de la primatiale lyonnaise et dans la tour-porche de la cathédrale de Die, il faut distinguer trois cas.

- Les corrections de gabarit. L'agrandissement ou la diminution d'une ouverture sont parfois encore lisibles dans les tracés préparatoires successifs conservés sur la surface du bloc. A Saint-Jean de Lyon (chapelle latérale sud du choeur, travée est du mur gouttereau sud), une ouverture (**fig. 35**) montre deux tracés primitifs plus petits. Il pourrait s'agir dans ce dernier cas, d'une partie d'une ouverture dichotomique d'angle inférieur. Dans le croisillon sud (triplet est), une ouverture près du larmier de la lancette sud (0,16 x 0,16 m), est moins haute que son tracé initial de 0,10 m.

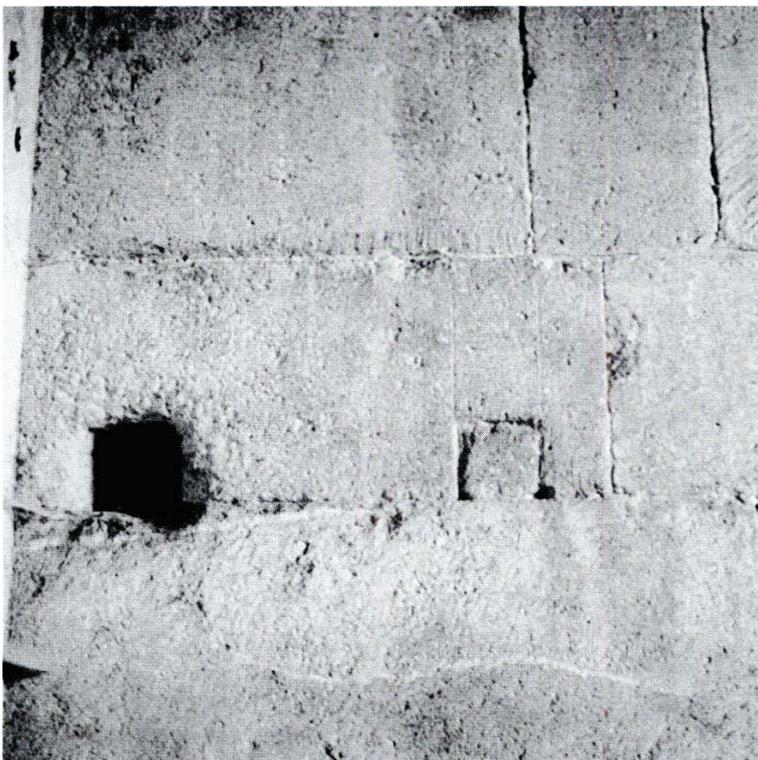
35- Saint-Jean Lyon (69) : primatiale Saint-Jean de Lyon Galerie de l'abside



TRACES GRAVÉES SUR LA PIERRE ET MONTRANT UN CHANGEMENT DE MODULE

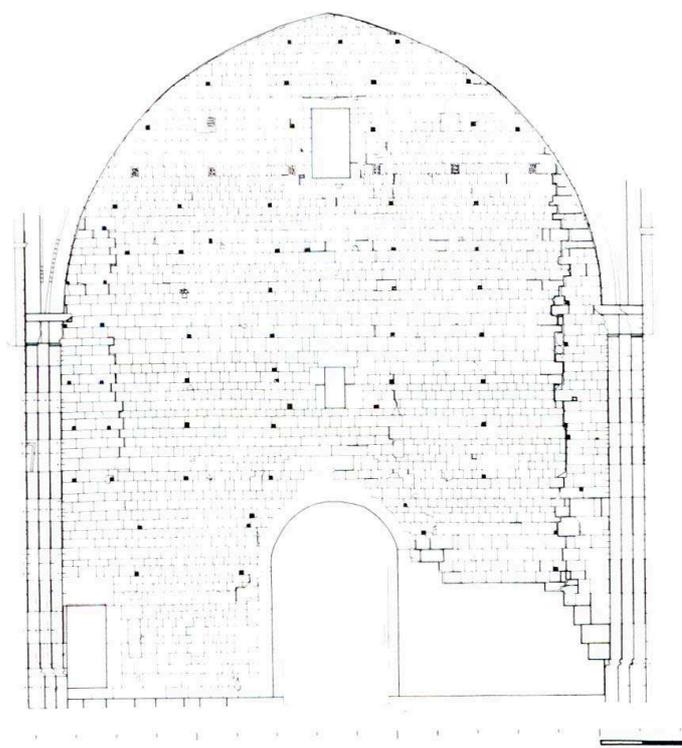
- Les déplacements de faible ampleur sur le même bloc. A Lyon (croisillon nord, sous le niveau du triplet est), une entrée (0,14 x 0,14 m) garde visible à sa gauche un tracé plus large de 10 cm, qui indique un glissement du trou sur la droite du bloc. On a le cas inverse dans le croisillon nord (niveau du triplet est, au-dessus de la lancette nord) où une entrée (0,16 x 0,17 m) a été presque taillée dans l'angle du bloc : on a épargné une languette de pierre de quelques millimètres de large, lèvre particulièrement fragile dont l'utilité n'est pas évidente.
- Les déplacements de plus grande ampleur sur le même bloc ou sur deux blocs. A Lyon (chapelle latérale sud du choeur, travée ouest du mur gouttereau sud), une entrée (0,09 x 0,10 m) a été ébauchée à 0,50 m du trou réalisé sur le bloc contigu. A Notre-Dame de Die (tour-porche, parement interne, angle sud-ouest, mur ouest), une entrée (0,10 x 0,10 m) a été amorcée à 0,46 m du trou réalisé sur le même bloc (**fig. 36**).

36- Die (26) : porche de la cathédrale Notre-Dame, ébauche d'un trou de boulin abandonné



- 40 A ces observations de détail, il faut ajouter les remarques faites lors du relevé du revers oriental du clocher-porche de la cathédrale de Die (**fig. 37**). Très fréquemment, les trous destinés aux boulins soutenant un même platelage sont disposés « tête bêche » sur une même assise. Le trou méridional est une échancrure pratiquée dans l'angle inférieur gauche d'un bloc, alors que l'échancrure droite (au nord) est effectuée dans l'angle inférieur droit. Par ailleurs, la mise en oeuvre du parement est organisée en une alternance de deux à trois assises de petits blocs qui succèdent à une assise de modules moyens : les trous de boulin de l'échafaudage sont systématiquement réalisés dans ces derniers.

37- Die (26) : revers ouest du porche de la cathédrale Notre-Dame

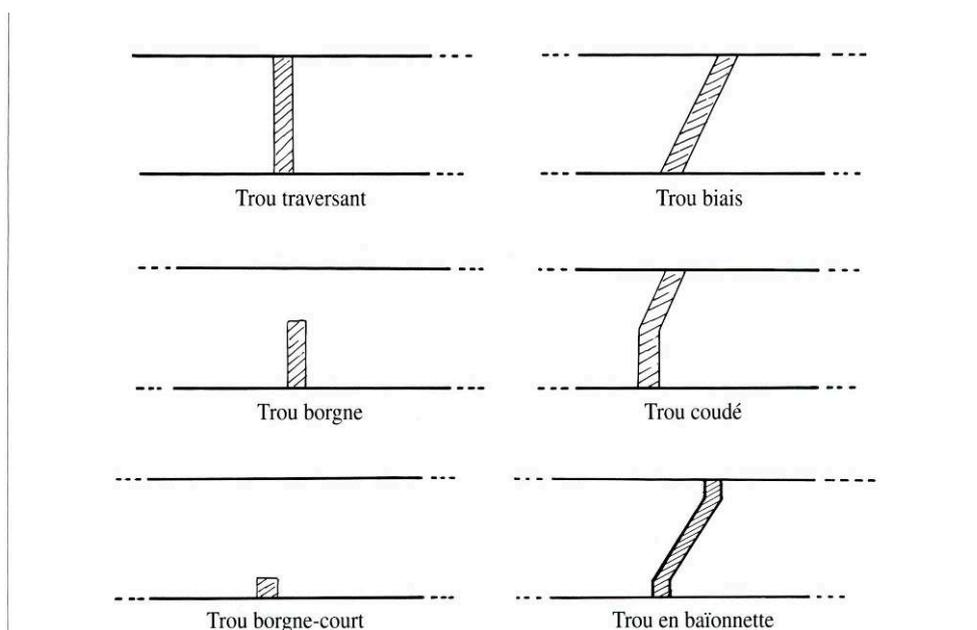


- 41 Les contraintes exercées par l'importance et la qualité du chantier sont essentielles. Dans les grands édifices mentionnés, l'implantation du trou de boulin, et donc des entrées, semble déterminée par le montage de l'échafaudage. Le respect de la structure impose l'emplacement des ouvertures dans n'importe quelle partie des blocs concernés. Dans les édifices de moindre importance (Sainte-Eugénie de Montbrison, Montverdun), l'implantation s'adapte au travail du maçon : une échancrure d'angle est plus facile à tailler, et l'on peut penser que l'autre type d'échancrure ne sera taillée qu'à regret, lorsque la contrainte d'emplacement est incontournable et que le maçon n'aura pas pu faire coïncider le boulin de part ou d'autre de la perche, avec un joint vertical. Par ailleurs, la fouille a mis en évidence, à quelques mètres en avant de la façade de la chapelle Sainte-Eugénie de Montbrison, un niveau de déchets de taille indiquant la présence de l'atelier de taille de pierre. On imagine alors fort bien, dans ces conditions, les échanges entre les tailleurs cherchant à tirer le meilleur parti d'un calcaire de qualité très irrégulière et proposant de ce fait des hauteurs d'assises aux maçons et appareilleurs, ceux-ci indiquant en retour des répartitions de joints ou l'emplacement d'une échancrure à tailler.

Tracé des fourreaux

- 42 Il existe deux systèmes d'ancrage des échafaudages dans le mur (**fig, 38**). On peut ménager un trou de boulin traversant ; doté d'une ouverture par parement et d'un fourreau les reliant exactement. Il permettait au boulin de dépasser de chaque côté du mur et de recevoir deux platelages qui s'équilibreraient.

38- Différents types de tracé des fourreaux, en plan



- 43 On peut, au contraire, établir un trou de boulin sur une profondeur inférieure à l'épaisseur du mur. Il s'agit alors d'un trou de boulin borgne*, dont il importe de vérifier la profondeur proportionnellement à la largeur murale : à Saint-Honorat-des-Aliscamps, la profondeur des trous borgnes varie entre 0,23 et 0,59 m, et reste ainsi inférieure à la moitié de l'épaisseur du mur (1,25 m). Les trous de boulin d'une tour du XVIe s. du prieuré de Montverdun montrent un rapport analogue entre la profondeur des trous de boulin non traversants (0,25-0,30 m) et l'épaisseur du mur (0,60 m).
- 44 La solution des fourreaux traversants est ingénieuse ; sa simplicité apparente explique sans doute son large emploi depuis l'Antiquité romaine jusqu'à la dernière guerre. Cependant, le détail de sa mise en œuvre à l'époque médiévale laisse deviner un niveau de complexité inattendu. Il convient donc d'examiner plusieurs cas, d'une part, les trous traversants dont le fourreau présente des ruptures d'insertion ; d'autre part, les formes diverses que prend le plan de ce type de fourreau.

Fourreau perpendiculaire aux parements

- 45 C'est le cas le plus fréquent, et son étude devrait permettre d'estimer les longueurs des boulins qui venaient s'y loger. Dans le cas d'un double échafaudage on peut essayer d'estimer la dimension du boulin requis. Sa longueur devrait être égale à l'épaisseur du mur (en moyenne, entre 1,30 et 2 m à Cluny), augmentée des largeurs des deux platelages (on peut estimer une largeur pratique de 0,50 à 0,70 m), et des deux embouts laissés libres pour la fixation sur la perche. On obtient un total utile compris entre 2,30 et 4 m. Mais, il est aussi possible qu'on ait utilisé deux boulins qui se rencontraient au centre du blocage.
- 46 Dans le cas du fourreau borgne, on peut restituer les dimensions en fonction de la longueur de pénétration dans le mur. Il faut aussi envisager le cas de boulins devant assurer le passage devant des éléments d'architecture en saillie, comme un contrefort : la longueur requise doit être augmentée de l'épaisseur de cet élément.

Fourreau biais

- 47 Le boulin n'est pas mis en place perpendiculairement au parement, mais suivant un angle supérieur à l'angle droit (tour des Montmayeur à Aime, portail de Cluny).

Fourreau en chicane

- 48 Nous avons rencontré pour l'instant deux types de fourreau en chicane.
- 49 Le type à baïonnette : il arrive que le tracé du fourreau soit orienté de biais dans le blocage alors que sur les parements, on a taillé les ouvertures perpendiculairement à la surface du bloc. Des exemples de ce type ont été rencontrés dans l'abside de Saint-Jean de Lyon, dans les sept pans de l'arcature aveugle et dans les contreforts montés entre les sept loges de la galerie extérieure. A Cluny, il en existe dans le mur gouttereau sud de l'avant-nef. Le type coudé : le mur occidental du transept de Cluny présente au premier niveau de ses baies une série de trous de boulin contre les piédroits des fenêtres. A l'extérieur, lorsque le trou de boulin n'est pas plaqué contre le dossier du contrefort, le fourreau part en biais sur la moitié de l'épaisseur du mur, en s'écartant le plus possible de l'ébrasement des fenêtres. A mi-fourreau, il reprend un axe perpendiculaire au mur. Cette technique est ici utilisée afin de ne pas affaiblir, par un fourreau rectiligne, la maçonnerie ébrasée de la fenêtre. La volonté de rejeter les trous de boulin près du contrefort répond au même souci de consolidation.
- 50 On peut imaginer que les trous traversants soient justifiés par l'usage d'échafaudages doubles, un pour chacun des deux parements. Cette distribution n'est cependant pas une norme. A Aime, dans la tour des Montmayeur, le segment de bois retrouvé dans un trou traversant ne pénétrait la maçonnerie (épaisse de 0,90 m environ) que sur 0,70 m de long. L'échafaudage ne peut être utilisé que d'un côté à la fois : sur l'extérieur, il servait à la construction du mur, à l'intérieur il était réservé aux travaux de revêtement.
- 51 De la même manière, il est légitime de penser que les trous borgnes correspondent à des échafaudages unilatéraux. Une partie du rempart de Montverdun, bâtie au XVIe s., dément le caractère automatique de cette déduction : les trous de boulin non traversants sont disposés de part et d'autre d'un mur épais de 0,76 m impliquant l'existence de deux échafaudages indépendants.

Les structures

Les platelages

- 52 Les surfaces de circulation peuvent être de deux natures, soit en planches aboutées, soit en claires continues portées par des longerons qui assurent à la surface de circulation la rigidité nécessaire. Ces platelages doivent être horizontaux et couvrir toute la portée du boulin, et une planche doit recouvrir la précédente d'au moins 0,20 m au-dessus d'un boulin, pour éviter tout risque de glissement. Des portes-planches sont prévus à chaque extrémité et entre les appuis, tous les 1,5 m. Un recouvrement minimum de 0,10 m à chaque extrémité doit prévenir le soulèvement et les effets de bascule. Pour une portée supérieure à 1,50 m, le plateau doit reposer sur un minimum de trois boulines. Sur un plancher en bois, le coefficient d'utilisation des planches (rapport entre la

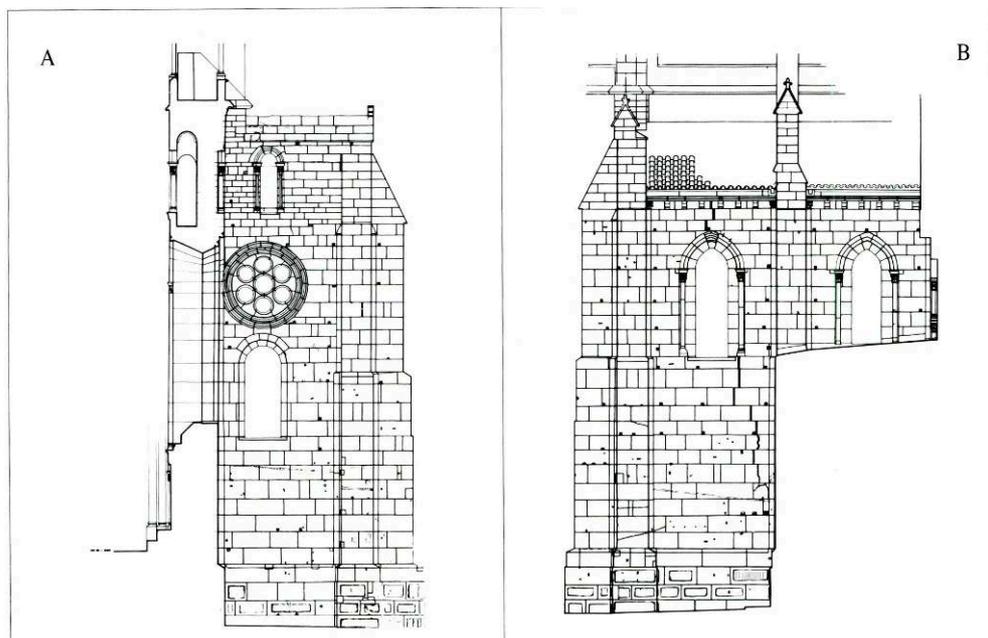
charge de rupture et la charge de service admissible) doit être égal à 6. Les charges posées sur des planchers horizontaux ne doivent pas excéder 200kg/m^2 , et ne doivent pas être ponctuelles, mais réparties.

- 53 Pour des raisons de sécurité, il faut aujourd'hui poser sur les plateaux des lisses et sous-lisses, et des plinthes longitudinales et transversales. La plate-forme de travail peut-être élargie avec des consoles.

Soutiens de platelages

- 54 La régularité dans la répartition des boulins accuse la répétition d'un même système de soutien pour des platelages sur plusieurs niveaux successifs. Le même échafaudage n'est-il pas démonté pour être réemployé plus haut ?
- 55 Aux trois travées orientales de la nef de l'abbatiale de Cruas (**fig. 29**), les trous de boulins gardent à peu près le même écart d'un niveau à l'autre, de sorte que les fluctuations dans l'alignement vertical affectent l'ensemble d'une rangée. Ce phénomène pourrait témoigner du transfert d'un même platelage sans perches, où le rapport entre platelage et boulins était imposé soit par les dimensions des matériaux, soit par le système de fixation.
- 56 A la cathédrale de Saint-Paul-Trois-Châteaux, sur la façade méridionale du transept et au sommet de la façade occidentale de la nef, des rangées binaires et ternaires de trous de boulins se déplacent d'un niveau à l'autre dans le sens horizontal, mais l'espacement des boulins reste approximativement analogue.
- 57 Aux murs gouttereaux des chapelles orientales du chevet de la cathédrale lyonnaise (**fig. 39b**), on remarque une constante inégalité entre les deux moitiés d'un échafaudage sur boulins ternaires, le trou central étant toujours excentré.

39- Lyon (69) : cathédrale Saint-Jean



A - CHEVET DE LA CHAPELLE SAINT-PIERRE, B - MUR GOUTTEREAU DE LA CHAPELLE

- 58 La répartition des trous de boulin est d'ordre proportionnel ; leur nombre est fixé en fonction de l'unité de développement* à couvrir. A la cathédrale de Lyon, la variété des largeurs de ces unités a permis d'observer les rapports suivants, qui sembleraient être des constantes :
1. les surfaces murales larges d'environ 3 à 3,30 m (pans de l'abside) présentent des lignes binaires, les deux trous de boulin étant ménagés très près des contreforts qui les bornent.
 2. à une largeur de 4,50 à 5,20 m (chapelles orientales) correspondent des lignes ternaires, les deux trous de boulin extrêmes étant placés à 0,30-0,60 m des contreforts.
 3. lorsqu'une surface murale atteint une largeur d'environ 7,50 - 8,50 m (transept), les lignes sont quaternaires, les extrémités se trouvant alors assez loin des éléments bornants.
- 59 Avec ces données, il est tentant de restituer, à partir des distances entre les trous sur une même horizontale, la longueur moyenne ou maximale des éléments qui composent les niveaux de circulation. Cependant, celle-ci s'avère souvent trop variable pour être imputable, avec certitude, aux seules dimensions des platelages. Alors que la distance minimale entre deux boulins voisins n'excède guère un mètre, d'autres systèmes d'échafaudage utilisent des boulins espacés de plus de 3 m. On constate alors que cette distance moyenne varie selon le type d'échafaudage adopté : un platelage soutenu à ses extrémités par des boulins encastrés très écartés exigerait en effet un point d'appui intermédiaire. Les trous médians de la troisième travée de la nef de Cruas (**fig. 29**) montrent que cet appui peut être, à l'inverse, le seul à être encastré (sur équerre ?) dans un échafaudage à perches.
- 60 Les exemples suivants illustrent les variations des entraxes* séparant deux boulins consécutifs : de 1,50 à 2,70 m à Sainte-Eugénie de Montbrison ; de 1,60 m à 3,50 m pour l'ensemble des murs à Cluny ; 1,09 et 2,04 m dans les niveaux ternaires, avec une moyenne de 1,26 m, et entre 2,81 et 3,21 m dans les niveaux binaires, avec une moyenne de 3,04 m à Cruas.

Entraxes et effet de bascule

- 61 Les entraxes constituent donc une des composantes de la recherche de sécurité sur l'échafaudage, dans la mesure où ils commandent la rigidité et la stabilité des platelages. Il convient alors de prendre en considération des données qui pour l'essentiel nous échappent faute de documentation : le nombre d'éléments de plancher par unité de développement (planches, bastaings, claies...) ; leur répartition suivant les points d'appui. L'entraxe donne une évaluation par approximation de la longueur des sections.
- 62 Au Moyen Âge, les échafaudeurs ne respectent pas les exigences de sécurité actuelles : deux boulins consécutifs peuvent suffire à porter une section de plancher. Parfois même le développement sur deux supports peut être très long, comme dans les parties hautes de la travée est du croisillon sud de Cluny (**fig. 32**). Quelle sécurité pouvait offrir une planche, forcément unique, ou un clayonnage sur bastaings, quand ils étaient jetés au-dessus d'un entraxe si long ? Des critères pratiques sont alors à prendre en compte : le rapport existant entre les entraxes et la longueur des éléments du platelage, et entre l'unité de développement et les éléments bornants.
- 63 Nous avons pu établir des ordres de fréquence habituels : deux boulins pour des unités de développement d'environ 3 m ; trois boulins pour environ 5 m ; quatre boulins pour environ 8,50 m. De la même manière, il n'existe pas de norme pour les entraxes, mais

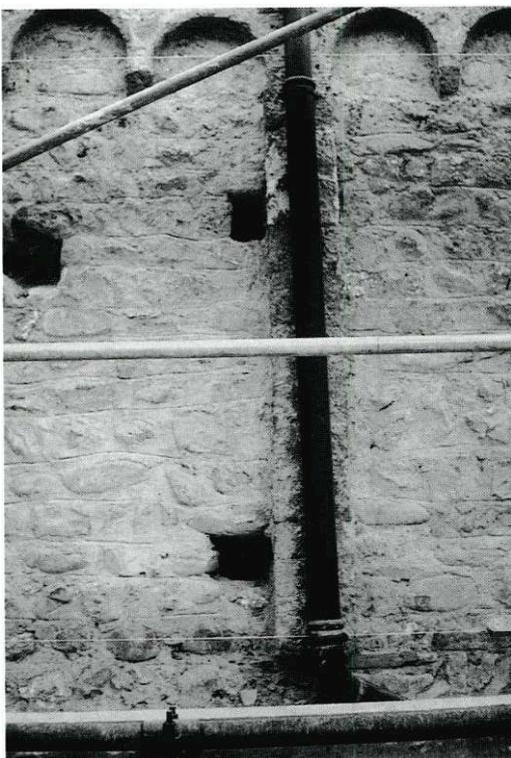
seulement des ordres de grandeur : 1,60-2,50 m dans l'abbatiale de Cluny ; 1,10-1,20 m à Moutiers dans la tour de la cathédrale ; 1,50 m-2,70 m à la chapelle Sainte-Eugénie de Montbrison ; 1,26 m et 1,95 m à Sainte-Jalle ; entre 1,50 m/2,70 m dans le chevet de la cathédrale de Lyon. Rien de systématique non plus dans les rapports de proportions entre les entraxes d'une même ligne de trous de boulin. La seule constante observée, du moins dans le cas des lignes de trois trous, est l'inégalité des deux entraxes : le trou de boulin intermédiaire n'est jamais, ou rarement, logé au centre de cette distance ; le plus petit entraxe représente 35 % à 45 % des cas, non pas de l'entraxe des deux boulines extrêmes, mais de l'unité de développement. Ce rapport privilégié du trou de boulin central à l'unité architectonique en construction mérite d'être souligné. Il est une des caractéristiques de l'échafaudage de l'époque romane, en opposition avec les solutions mises en oeuvre dans l'architecture gothique. Il indique, enfin, qu'on a pu utiliser ponctuellement l'équerre dans un échafaudage à perches. En effet, lorsque ces boulines intermédiaires sont trop décentrés les uns par rapport aux autres, on n'a pas pu les lier à un même système de perches. On rencontre aussi ce type d'organisation sur des tours médiévales, comme par exemple à Aime, dans la tour des Montmayeur.

- 64 Enfin, on peut lire un intéressant exemple de changement d'entraxe en fonction de la hauteur du bâti, dans le chevet de l'église de Montverdun. Sa partie supérieure présente des lignes de trous plus denses, et donc plus resserrés, que dans les parties basses ; l'étude de Ch. Le Barrier a bien démontré qu'il ne s'agit pas des marques d'une interruption de chantier, mais bien d'une remise en cause des conditions de stabilité. Elle atteste bien le caractère évolutif de ces échafaudages, évolutions visiblement induites par des problèmes pratiques de mise en oeuvre.

Extrémités des platelages

- 65 Un aspect essentiel de la question concerne l'évaluation pratique de la distance devant séparer les derniers boulines des éléments bornants. Ces derniers sont obligatoirement intégrés à l'échafaudement, puisqu'ils sont montés en même temps que les murs. Mais ne limitent-ils pas les dimensions des platelages, lorsque les monteurs se sont calés sur eux ? L'exemple de Saint-Jean-de Maurienne permet de définir les caractéristiques de ce rapport dans un cas précis, celui d'un décor externe de lésènes d'arcatures lombardes. Les trous de boulin sont systématiquement plaqués à droite ou à gauche du petit ressaut (**fig. 40**). Il faut alors restituer dans chaque travée un platelage indépendant dont les planches se bloquent contre les lésènes.

40- Saint-Jean de Maurienne (73) : cathédrale, façade nord, lésène et trous de boulin



- 66 De ce fait, les éléments saillants, selon leur épaisseur, vont naturellement jouer le rôle de garde-corps d'extrémité. Si dans l'architecture romane, on s'est efforcé d'aligner au mieux les trous extrêmes le long des éléments bornants, c'est qu'il s'agissait de limiter les risques de bascule en bout de platelage.
- 67 Les cas étudiés font apparaître un débord d'environ 0,20/0,50 m. Mais ce n'est pas une norme absolue. A la cathédrale de Lyon, dans le *triforium* du chœur, des unités de développement de 4,50/5,20 m, comportent des lignes de quatre trous. Ceux des extrêmes sont alors distants de 0,50 à 1,00 m (souvent 0,60/0,90 m). Un entraxe plus resserré aurait suffi à éliminer tout danger. Le platelage ignore-t-il délibérément l'élément bornant en s'achevant à l'aplomb des boulins extrêmes, avec un garde-corps, ou est-il simplement fixé aux boulins ? Au-delà des questions de sécurité, on retrouve le problème de l'utilisation de l'échafaudage lors du montage des éléments en saillie : Cluny en présente un bel exemple, puisque les platelages utilisent les contreforts et les piliers comme appui.

Les moyens d'accès

- 68 Comment accédait-on au platelage ? L'iconographie et les textes en présentent trois types : le plan incliné, l'escalier et l'échelle.

Plan incliné (ou rampe d'accès)

- 69 Il s'agit d'un plancher disposé obliquement, et comportant normalement des barres transversales clouées sur son plan supérieur, pour éviter les glissades » (Ginouvés 1985, p. 118). Ce système est attesté par l'iconographie qui en donne des exemples. Comme les platelages, ce sont des claies ou des planches, parfois agrémentées de rampes. La

face de circulation est souvent munie, à intervalles réguliers, de baguettes transversales, sans doute en bois, qui devaient rigidifier l'ensemble et éviter aux ouvriers de glisser. Dans les représentations les matériaux étant essentiellement portés sur le dos, les mains sont occupées à maintenir la charge, et ne peuvent alors servir à l'ascension, seuls les porteurs de hottes à mortier montent sur des échelles.

Escalier

- 70 Nous n'en avons retrouvé qu'une mention, dans les comptes du Palais des Papes, quand paiement est fait, en septembre 1344, de 132 m de planches pour la façon d'un escalier pour l'échafaudage des murs du jardin²⁹. Le terme *scalenus* s'applique en principe à l'escalier. A-t-on voulu désigner par ce mot un système, à mi-chemin entre les deux autres, comme par exemple un plan incliné portant de petites « marches » triangulaires comme en figurent certaines miniatures ? Il ne semble toutefois pas avoir eu un grand succès si l'on se fie aux sources conservées ; peut-être en raison d'un coût vraisemblablement élevé. On le retrouve toutefois sur un autre chantier pontifical du XIVe s., celui de la Chaise-Dieu (Costantini 1993, vol I, p. 360).

Échelle

- 71 On trouve diverses mentions et représentations d'échelles associées aux échafaudages (**fig. 41**). Nous ne sommes pas renseignés sur le bois utilisé pour les confectionner ou sur leurs dimensions, sans doute très variables. Un prix-fait aixois³⁰ de 1531 note qu'outre les planches « pour faire l'échafaudage (*per fayre stagieros*), il sera mis à la disposition du maçon des échelles, si c'est utile, pour monter » (*scales si fa beson per montar*). Le « *si fa beson* » laisse entendre que dans certains cas au moins les ouvriers se passaient de ce système ; peut-être simplement en escaladant.

41- Allégorie des femmes maçons



LES ÉCHAFAUDAGES REPRÉSENTÉS ICI SONT DE DEUX TYPES : CELUI DE DROITE EST ENCASTRÉ À UN RANG DE PERCHES. LE PLATELAGE PLACÉ TRÈS HAUT N'A PAS DE GARDE-CORPS, IL EST SOUTENU PAR DES BOULINS ET DES MOISES. L'ENSEMBLE QUI N'EST PAS CONTREVENTÉ EST SOUTENU PAR DES AISSELIERS QUI PERMETTENT DE SOULAGER LES BOULINS ET DE RÉDUIRE LES PORTÉES POUR CE PLATELAGE D'UNE EXCEPTIONNELLE LARGEUR. ON Y ACCÈDE PAR UNE ÉCHELLE. CELUI DE GAUCHE EST INDÉPENDANT DE LA MAÇONNERIE. LES QUATRE PERCHES SONT PLACÉES DE CHAQUE CÔTÉ DU MUR, UN LARGE PLATELAGE COMMUN ET SOMMITAL SERT DE DÉPÔT (BRIQUES, CUVE À EAU...).

Les pieuses nuits de Berthe, Romans de Girard de Roussillon (Flandres), 1447. Cod. 2549, fol. 167 v°. Vienne, bibl. Nat.

La circulation

- 72 L'accès et la circulation entre les platelages s'effectuent par des trappes, passages d'échelles ou trémies. Ces ouvertures peuvent également être utilisées pour la montée et la circulation des matériaux.

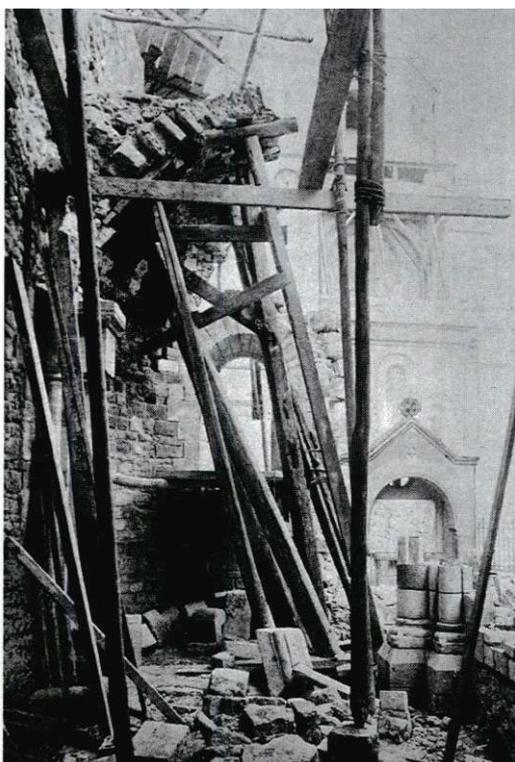
Les aboutements et les ligatures

- 73 Aujourd'hui, dans un échafaudage métallique, les liaisons entre les tubes se font par des colliers, clavettes, ou disques multi-directionnels. Sur un échafaudage de bois, les assemblages peuvent être réalisés avec des chaînes (**fig. 4**), des clous ou des ligatures. Ces dernières sont nouées et dans la conception du noeud et le calcul de sa résistance, boulins et diagonales concourent : effort vertical tranchant, cisaillement horizontal, traction, moment fléchissant* (Layher sd, p. 12).

Les aboutements de perches

- 74 La restitution des longueurs de perches reste un exercice délicat. A partir d'expériences contemporaines (cf. encart de P. Roussel, *supra*) dans les travaux publics, il est possible d'évaluer les hauteurs probables des perches. On notera, à titre d'hypothèse, que sur la façade de la chapelle Sainte-Eugénie de Montbrison, l'utilisation de deux perches d'environ 6,00 m, aboutées avec un recouvrement de 2,00 m, permet d'obtenir la hauteur désirée. De manière générale, un léger décalage entre deux alignements verticaux sur un même parement peut indiquer le niveau des ligatures entre deux perches aboutées, et permet des restitutions de hauteurs. « En cas d'enture des montants, l'assemblage doit être fait de telle façon que la résistance de la partie entée soit au moins égale à celle de la partie qui lui est immédiatement inférieure » (OPPBTP 1993, p. 66). « Les entures verticales doivent être réalisées au moyen de deux ligatures distinctes, espacées au minimum de 0,50 m. Les cordages doivent faire au moins huit fois le tour (spires*) des bois » (OPPBTP 1964) (**fig. 42**) et comporter un « tour mort* » pour serrer³¹. « La solidité de la liaison est simplement assurée par la précaution de saisir les deux extrémités de cette corde plusieurs fois entre les bois et les spires extrêmes » (Cordeau, p. 335). Les consignes actuelles de sécurité (OPPBTP, 1964) signalent aussi qu'il faut éviter de prolonger tous les montants à la même hauteur et disposer les entures des aboutements en quinconce pour ne pas créer un niveau plus faible.

42- Saint-Pierre de Montmartre, échafaudage de restauration



BULL. MONUMENTAL 1913

- 75 Dans l'imaginaire médiéval, cordes et cordages devaient être associés aussi étroitement à l'échafaudage qu'ils l'ont été, dans le monde moderne, à la marine à voile.

L'iconographie atteste largement ce qu'il est facile d'imaginer : les liens tiennent une place prépondérante dans le montage ; aboutement des perches, ou ligatures des pièces de bois croisées (étais, longerons, perches, boulins, éléments raidisseurs). Le liaisonnement de tous ces éléments de la structure ne pouvait être mieux réalisé, ni avec autant de souplesse qu'en utilisant des cordes.

- 76 Mais il faut nuancer. Dans les textes étudiés, en effet, il est fait mention, mais exceptionnellement, de clous. Les comptes du clocher de la cathédrale Saint-Sauveur d'Aix-en-Provence, par exemple, conservent la trace d'un paiement de 4 sous pour 24 « clous patacs » pour les échafaudages des cintres³². Il devait s'agir de clous de bonne taille car ils coûtaient deux fois moins que les gros clous (*clavellis grossis*), mais quatre fois plus que les petits (*clavellis minutis*) achetés la même semaine. L'emploi de clous ou de chevilles est attesté également par l'iconographie qui nous présente certaines structures comportant des sortes de cales ou des contre-fiches « clouées » au marteau sur les perches (**fig. 70**)³³. D'autres solutions ont par ailleurs été utilisées : dans la représentation de l'Hôpital de la Scala à Sienne (XVe s.) (**fig. 43**), les moises ne sont pas liées, mais reposent sur des tasseaux, petites cales de bois taillées en biseaux, et chevillées à la perche. Dans tous les cas présentés, il s'agit d'images tardives de ces structures, dont la mise en oeuvre a fait appel à des techniques sans doute déjà sophistiquées et délicates à réaliser.

43- Sienne (Italie) : fresque de Domenico di Bartolo (1440) représentant un chantier de construction



Rare exemple de chantier urbain, avec, à droite, des manoeuvres qui montent les matériaux sur un échafaudage très élaboré : il est de type encastrement, à un rang de perches. Celles-ci sont ici des troncs d'arbres à peine équarris, sur lesquels les départs des branches sont toujours visibles. Les plateaux sont constitués de planches juxtaposées qui reposent sur les boulins. Des cintres en charpente sont posés dessus en attente.

A l'étage supérieur, un platelage en porte-à-faux est soutenu sur des aisseliers. Il est évidé pour laisser passer la corde d'un treuil. Les liaisons ne se font pas par des cordes, mais les boulins reposent sur des taquets biseautés qui semblent chevillés aux perches. L'accès se fait par une échelle sur laquelle on retrouve la représentation du porteur au panier calé sur une épaule.

Sienne, hôpital Santa Maria della Scala, salle des Pèlerins

Cl. Dagli Orti

Les liens

- 77 Trois types de cordes sont mentionnés dans les comptes de la chartreuse de Champmol : les longues, les cordes de charrue et des « *boutencols* ». On peut rapprocher ces fournitures des « huit traits à charrue, huit longues et quinze toises de menue corde pour les allours aux couvreurs » relevés par Quicherat dans les comptes de la fabrique de la cathédrale de Troyes en 1381-1382 (Quicherat, 1886, p. 202). Ces mentions laissent entendre qu'il y avait trois grands types de ligatures dans les échafaudages, nécessitant chacun un modèle de corde particulier. Il ne semble pas, vu les appellations, que l'on ait eu recours à des liens spécifiques, mais plutôt à des cordages courants.
- 78 A quoi correspondaient ces diverses cordes ? Quelle en était la destination exacte ? On ne peut que constater une fois de plus la précision toute relative des textes ; mais l'iconographie atteste la diversité de ses utilisations : par exemple, les cordages sont indispensables dans l'élévation par traction, qu'il s'agisse de monter des seaux d'eau ou de mortier, des palettes de pierres, des blocs de dimensions importantes, ou même des éléments sculptés. C'est encore avec des cordages que l'on monte du matériel (échelle,

pièces de bois, outillage) (Mendoza 1992, pp. 30-31) qu'on élingue une bille de bois (noeud de forestier ou de charpentier), une échelle (noeud d'échelle) ou un outil (amarrage d'un marteau).

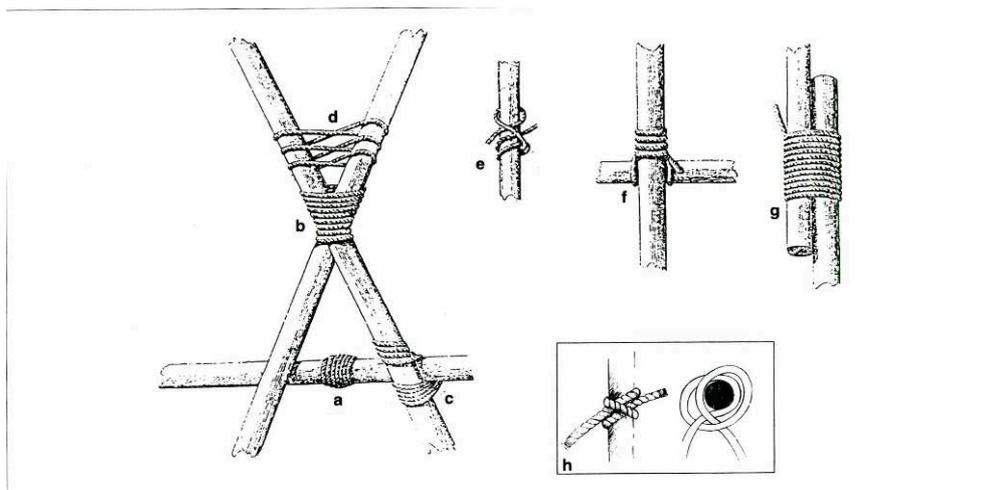
- 79 Outre les cordes, les échafaudeurs ont également pu se servir de « liens de bois souple et pliant » suivant la traduction du terme *retorta* faite par Mortet à propos d'un récit du XI^e s. sur la construction de l'église de La Voulte (Mortet 1911,t.I, p. 130).
- 80 B. Phalip signale « qu'il faut éviter de considérer à priori que la corde est répandue dans tous les chantiers quelle qu'en soit la taille. Dans la première moitié du XX^e s. en Limousin et Marche, les liens étaient faits de ronces tressées pour les petits chantiers ».

Les nœuds

- 81 D'après l'iconographie, et comme on pouvait s'y attendre, les liaisons des longerons, moises et boulins sur les montants se faisaient principalement au moyen de cordes ; dans ce domaine, les noeuds jouent un rôle essentiel ; leur réalisation constitue un chapitre technique à part. Les textes attestent partiellement cette pratique, dans la mention d'un instrument de serrage, le « gaston ». Il s'agit de morceaux de bois qui étaient, d'après le rédacteur des comptes des Bernardins de Paris, « destinés à tordre les cordes avec lesquels sont liés lesdits échafaudages » (Dautrey 1994, p. 75). Leur mention a été fort rarement relevée, mais on les voit livrés par centaines ou milliers sur le chantier parisien. Au vu de la précision apportée par le maître d'oeuvre des Bernardins, il faut peut-être reconsidérer la définition proposée pour ce terme par Godefroy (Godefroy 1881-1902). Cet auteur donne pour « gaston » la signification suivante : « poutre traversée de distance en distance par des échelons et servant à monter sur les échafauds ». A l'appui de cette acception il cite un texte de 1357 : « Pour VI c et III quarterons de eschillons achetés de lui pour faire gastons pour lesdis eschaffaux ». N'y a-t-il pas eu confusion ? Les échelons ont pu simplement servir de « gastons ». Divers bâtons ont pu faire office de « gastons » mais, en reprenant l'enquête dans les sources de langue d'oïl avec cette nouvelle interprétation, peut-être trouverons-nous quelques indications sur la nature et les dimensions de ces éléments mineurs.
- 82 Pour ce qui est de la typologie, le Moyen Âge ne nous a laissé aucun indice. Il faut se reporter aux traités modernes. Le développement très précoce de ces techniques de nouage, en usage aussi bien dans l'architecture de bois (habitat et cabanes du haut Moyen Âge) que dans l'architecture navale (bateaux vikings, par exemple) a dû rapidement fixer des types, dont on peut légitimement penser que les formes, définies par des contraintes mécaniques, sont restées stables. Nous donnerons donc ici quelques indications en rapport avec les problèmes pratiques soulevés par l'échafaudage.
- 83 C'est la charge qui serre les ligatures : « les maçons dressaient le long des façades des échafaudages de bois dont les boulins d'acacia transversaux étaient fixés aux échasses verticales de sapin par des cordages de chanvre. Le noeud, la cravate fixe le boulin à l'échasse... de façon que lorsque l'on charge, il se serre » (Cavanna 1983, p. 344), « Il fallait des cordes de 2,50 m. Plus on chargeait, plus ça (les noeuds) se bloquait. Quand on a utilisé les premiers échafaudages en tube, ils pliaient sous le poids des pierres »³⁴. « Il y avait un noeud coulant que l'on passait à la perche et on faisait plusieurs tours autour des deux bois (perche et boulin)³⁵ (fig. 44g). » « Les cordages doivent être d'une seule pièce.... et d'une longueur suffisante pour faire un nombre de tours en rapport

avec leur résistance et la charge supportée » (OPPBTB 1993, p. 67). Dans les années soixante, les consignes de sécurité (OPPBTB. 1964, pp. 111-112) préconisaient des cordages passés en cinq tours jointifs (c'est le nombre minimum) au moins et bien serrés autour de chaque pièce (**fig. 44**).

44- Les noeuds : les diverses espèces d'amarrages



a est un amarrage à ceinture ; b, à la cloche ; c, à ceinture double ; d, à chaînette ; e, à une perche, f, un assemblage de perche et de moise (Cordeau, fig. 86)

- 84 « Pour arrêter la corde on repassait le bout deux fois dans la corde. Pour les murs déjà bâtis, on se servait souvent de barres à mine que l'on enfonçait un peu dans le mur et qu'on attachait comme les bois (boulins)³⁶ ». Cette corde, communément appelée *limousin** est terminée par une surliure pour empêcher les cordages de s'effiloche, ou un oeil épissé qui forme une boucle fermée permanente.
- 85 Les *épissures* (brêlage) servent à abouter deux cordes (Cordeau, pp. 332-335) de façon permanente : les brins qui la composent sont dégommés. On les retourne pour les retresser en les engageant avec la corde elle même. Dans les brêlages, tous les brins doivent être également serrés.
- 86 Les *noeuds* servent entre autres « à attacher une des extrémités ou le milieu d'une corde à un autre objet... et à finir les amarrages » (Cordeau, pp. 332-335). Ces noeuds sont constitués à la base de demi-clefs* à capeler*, dites « noeud de cabestan » (**fig. 44 h**). Ce noeud d'amarrage « dont la fonction est de frapper un cordage sur un objet quelconque... a la particularité d'être tributaire de cet objet sur lequel il est tourné » (Mendoza 1992, p. 20). Le noeud de cabestan est le système le plus répandu pour amarrer un cordage à un poteau.

NOTES

20. Témoignage de Mr Moulin, maçon, recueilli par Ch. Le Barrier.

21. Lors d'un sauvetage archéologique a été retrouvé le mur gouttereau nord de l'édifice roman. Un trou de poteau (0,22/0,15 m, sur 0,19 m de profondeur), creusé dans un sol de propreté, avec galets de calage, était conservé contre le parement interne : l'échafaudage était ici parallèle à la paroi. Ce trou qui n'est pas totalement circulaire est collé contre le mur : la perche était donc appliquée contre l'élévation, sur laquelle il devait s'appuyer. L'exiguïté du sondage n'a pas permis de constater l'étendue de l'installation.

22. A Notre-Dame de L'Hôpital-sous-Rochefort (Loire), des coffres cinéraires du IIe s. ont été réemployés en disposant leurs cupules circulaires profondes de 0.15-0,20 m en parement ; toutefois rien ne prouve que ces cavités circulaires aient servi à l'encastrement d'échafaudages.

23. Les façades actuellement visibles présentent un système d'échafaudement très régulièrement organisé. Nous avons examiné la première ligne de trous de boulin (trous traversants ; 4 entrées en façade) de la moitié droite de la façade principale, les seuls directement accessibles et dont le fourreau est bien conservé. Les ouvertures, de type maçonné, mesurent environ 15 x 24 cm (1 fois 30 x 25 cm) ; l'érosion des blocs laisse une marge d'appréciation, mais on constate d'emblée le caractère systématique de la réalisation. Ces ouvertures donnent sur une entrée profonde d'environ 25 à 40 cm. une cavité parallélépipédique réglée sur l'ouverture et formée des 4 blocs qui la composent. Au fond de cette entrée, on aperçoit l'ouverture circulaire du fourreau prise dans la fourrure du mur. Les diamètres mesurent environ de 9 à 12 cm. La différence entre l'entrée et le fourreau est considérable. Il se présente, autant qu'on puisse l'observer, comme un long tuyau faiblement irrégulier, lisse, et marqué d'un léger replat au niveau de la tangente avec l'horizontale de l'appui sur la fourrure. On a l'impression qu'on a logé le boulin dans les deux entrées du trou, puis qu'on a complété la fourrure avec un mortier abondant qui a, pour ainsi dire, moulé le boulin.

24. Ces dimensions sont rarement dépassées : à la façade de Saint-Trophime d'Arles, ce ne sont peut-être que les obturations du XIXe s. qui ont conféré aux trous de boulin échanrés des chaînages de la partie basse un gabarit atteignant jusqu'à 0,18 x 0,18 m. Les trous de boulin intégrés dans le petit appareil des mêmes maçonneries possèdent en effet des dimensions très inférieures (0,10-0,15 x 0,11 - 0,15 m).

25. A Léoncel, les trous de boulin sont de très petites dimensions. (6, 5/7 ht, 7/9, 8/9). Tous rebouchés, on ne peut savoir s'ils sont traversants ou non. Ils sont tous du type échanré. Le premier est à 0,80 cm du sol, puis ils sont distants d'1,02 m. Leur trame est régulière. Dans la quatrième assise surmontant le bandeau qui sépare le niveau inférieur (porte) et le niveau supérieur (baie) de la façade, ils se décalent pour la construction de la fenêtre. A Chamaret, une semblable ligne est logée aussi au-dessus de la porte. L'emploi de petits trous de boulin isolés peut s'expliquer comme un ancrage pour un échafaudage non encastré. Ainsi, à Léoncel il semblerait que la façade ait été élevée depuis un échafaudage sur pied, simplement haubané par des cordages bloqués par des pinces dans ces trous (Tardieu 1994).

26. Si les deux côtés peuvent être sciés, le troisième ne peut l'être : il doit être obtenu au ciseau.

27. Le gras de la pierre : il s'agit de la partie centrale du parement qui se trouve être en surplus par rapport aux arêtes lorsque celles-ci ont été dégagées à partir d'une face taillée en gras (Noël 1968 p. 192).

28. L'indice de sécurité prend en compte l'activité exercée sur l'échafaudage. Les normes actuelles considèrent qu'un homme de 80 kg immobile représente un poids de 160 kg quand il marche et de 340 kg quand il saute.

29. Arch. Vat. : I.E. 232, f° 98 : "*LXVI cannis costeria pro uno scalerio faciendo pro stagiis muris jardini*".

30. Arch. Dép. Bouches-du-Rhône (Aix) 306 E 602, f° 986 v°.

31. Témoignage de Mr Gonçalves, conducteur de travaux qui à ses débuts édifia des échafaudages en bois.

32. Arch. Dép. Bouches-du-Rhône : 2 G 1843, f° 125 v "*pro clavellis patacalibus pro stagiis sindriarum*". Il s'agit de clous d'une valeur unitaire d'un patac, environ 2 deniers.

33. Londres, British Library, Ms. Add 35313 f° 34 et Malibu, Musée Paul Getty, Ms. Ludwig IX, 18, f° 32.

34. Témoignage de Mr Peyron, maçon originaire de Chalmazel dans la Loire, recueilli par Ch. Le Barrier.

35. voir note 20.

36. voir note 20.

Chapitre 4. Échafaudage et iconographie médiévale du chantier

- 1 La recherche sur la construction médiévale fait de plus en plus appel aux sources iconographiques illustrant les procédés de mise en oeuvre connus par les textes, et confirmés par l'étude monumentale. Si des publications récentes³⁷, notamment celles de G. Binding, ont fait connaître à un large public un nombre considérable de ces représentations médiévales de chantier, leur étude laisse toutefois à désirer. A côté des progrès de la recherche archéologique et de l'analyse des textes, l'approche de l'image se limite souvent à la simple illustration d'un propos, sans égard au contexte historique, géographique et artistique du document.

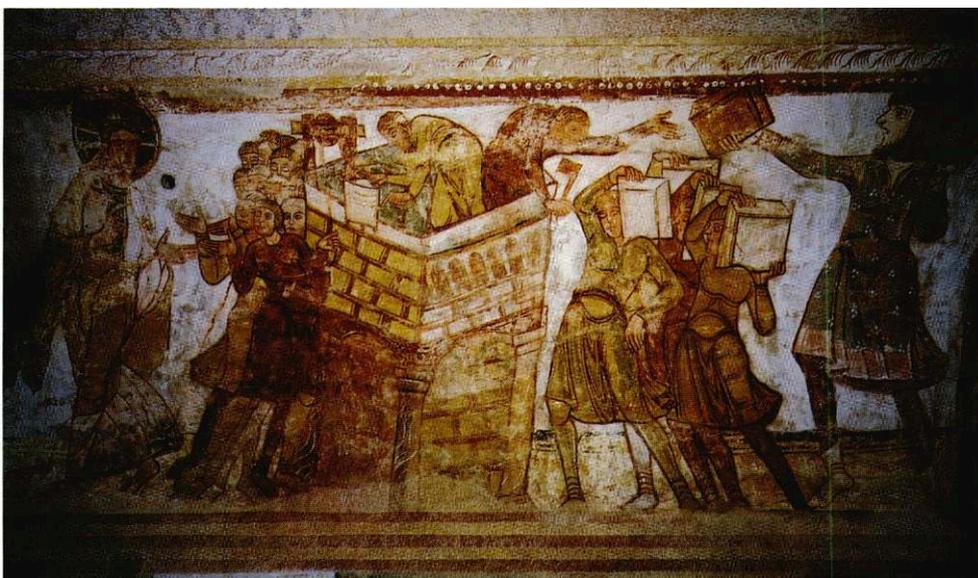
L'approche de l'image de chantier médiéval

- 2 L'approche conventionnelle de l'image semble en effet ignorer l'évolution considérable de l'iconographie du chantier de construction du XIe au XVe s. S'il est difficile de déterminer dans quelle mesure cette évolution traduit, ou non, des changements dans le domaine des procédés techniques représentés, une première observation s'impose d'emblée : l'évolution dans la représentation des installations de chantier dépend de celle de l'organisation spatiale. Ainsi, le développement d'un espace pictural tridimensionnel exerce une influence considérable sur la façon de faire figurer la disposition de l'échafaudage, et d'autres aménagements intimement liés à l'architecture, en rapport avec un édifice, alors que les détails de l'assemblage changent peu.
- 3 Le rapport étroit entre la représentation de l'échafaudage et celle de l'édifice peut donner lieu à des déformations très importantes si le développement d'une perspective n'aboutit à une image cohérente. C'est le cas d'une *Tour de Babel* dans un manuscrit de 1340-1350 (Rudolf von Ems, *Histoire universelle*, Zurich, Zentralbibliothek, Cod. Rh., f° 6 v°. Van Tyghem 1966, fig. 64 ; Binding 1987, n° 651), où un échafaudage encastré à bascule, situé sur la face latérale de la tour, représentée en perspective, reste parallèle à la façade frontale. Cette incohérence et le caractère sommaire de l'échafaudage

représenté contrastent sensiblement avec le rendu très précis et détaillé de l'outillage et des engins de levage du chantier.

- 4 La fiabilité inégale du détail et de l'organisation d'ensemble met en garde contre une surinterprétation de l'image : celle-ci ne reflète en effet l'évolution de l'architecture de son temps qu'à travers une lente transformation des conventions iconographiques, comme l'illustre, par exemple, l'introduction de l'arc-boutant dans le schéma conventionnel de l'image de l'église, à partir du début du XIIIe s. (Binding 1987, n° 502 ; n° 140).
- 5 L'évolution de la représentation de l'échafaudage, intimement liée à celle de l'architecture et de l'espace pictural, est ainsi plus importante que celle que l'on peut discerner dans la figuration des différentes opérations du chantier, qui résument les tâches évoquées dans les textes contemporains.
- 6 Le problème de l'espace pictural pourrait au moins partiellement expliquer la rareté des images d'échafaudages avant le XIIIe s., carence qui contraste avec l'abondance des données archéologiques et avec les mentions d'échafaudages et de cintres dans les sources écrites. Parmi les nombreux paramètres qui déterminent le degré de fiabilité d'une image, les modes de représentation particuliers à une époque, à une région et à un domaine de production artistique donnés, mais aussi la transmission et la transformation de ces derniers sont, par conséquent, particulièrement significatifs.
- 7 La grande majorité des images de chantier médiévales proviennent de manuscrits et, à partir de la seconde moitié du XVe s, de sources imprimées. Avec la *Construction de la Tour de Babel* et la (*Re-*) *Construction du Temple de Jérusalem*, l'Ancient Testament et la littérature s'y référant fournissent deux thèmes majeurs auxquels se joignent ceux de la littérature historiographique et hagiographique. La comparaison avec des images sur d'autres types de support permet de rapprocher les enluminures des peintures murales et des mosaïques. Leur ressemblance s'explique d'une part par l'influence des modèles graphiques à échelle réduite, comme ceux du célèbre recueil d'Adhémar de Chabannes du début du XIe s. qui en serait un des rares exemples conservés, et d'autre part par des contraintes formelles souvent analogues.

45- Saint-Savin-sur-Gartempe, peintures de la voûte de la nef (vers 1100)



Construction de la Tour de Babel

Inventaire Général des Monuments et des richesses artistiques de France, Région Poitou-Charentes, 1994, cliché A. Maulny

- 8 La représentation du chantier dans la sculpture monumentale romane illustre l'importance de la forme du support, qui peut imposer une réduction de l'image à l'essentiel. Sur un chapiteau du cloître de l'abbaye de Conques (vers 1125-1150) qui représente probablement la reconstruction de Jérusalem au son de l'olifant, la répartition des éléments est dictée par l'épannelage : sur la partie inférieure de la corbeille figure un édifice appareillé dont émergent les bustes de huit personnages aux angles et au centre de chaque face. Certains peuvent être identifiés par leurs outils comme étant des tailleurs de pierre (Vergnolle 1994, p. 20, fig. 12).
- 9 La forme déterminée par la disposition de l'image sur son support semble donc être plus importante que la technique utilisée : si la célèbre *Tour de Babel* de *Saint-Savin-sur-Gartempe* (vers 1100) (**fig. 45**) intégrée dans une frise, est aussi haute que les manœuvres figurés à côté, celle de la *cathédrale de Monreale* (vers 1185) (**fig. 46**), conçue pour un emplacement plus haut que large, est deux fois plus élevée que les personnages. La *Bible de Roda* (1000-1050) (Paris, B.N., ms. lat. 6, t. III, f° 89 v ; cf. Gimpel 1980, p. 43 ; Kahn 1982, p. 293 ; Binding 1986, p. 34, fig. 1 ; Vergnolle 1994, p. 42, fig. 29) échelonne les opérations du chantier de la *Reconstruction du Temple* entre deux colonnes du texte, ce qui permet, tout en donnant à l'édifice une hauteur modeste, de représenter le levage des blocs à la main sans faire référence explicite à des échafaudages, des échelles ou des engins. A l'inverse, des images plus récentes, comme celles d'une *Bible de Corbie* datée de 1264 et celles d'un groupe d'*Histoires universelles* allemandes du XIV^e s.³⁸ (Binding 1987, n° 4, n° 5 (1264) ; n° 310 (début du XIV^e s.), n° 334 (fin du XIV^e s.), n° 335 et Erlande-Brandenburg 1993, p. 122, (vers 1370)), disposent sur un tel espace vertical une construction très surélevée, ce qui donne, à l'époque gothique tardive, l'occasion de représenter des échafaudages d'une hauteur inconnue dans d'autres images du genre³⁹. La hauteur exceptionnelle d'une construction, ce qui est, selon la source biblique, la caractéristique essentielle de la Tour de Babel, favorise en effet la représentation de structures liées à l'élévation, comme l'échafaudage, les

moyens d'accès et les engins de levage. Toutefois, si les images de la Tour de Babel prêterent davantage attention à ces installations à partir de la fin du XIV^e s., le sujet iconographique en soi n'est pas le moteur principal de cette évolution : il s'agit en fait d'un regard nouveau sur le bâti et ses proportions dans un espace pictural, dont les prémices apparaissent dès la première moitié du XIII^e s. dans le domaine de la conception graphique des édifices gothiques et de leurs éléments constitutifs. Les dessins orthogonaux et perspectifs de Villard de Honnecourt, comme les plans et relevés proportionnels connus à partir du début de la seconde moitié du XIII^e s., en témoignent.

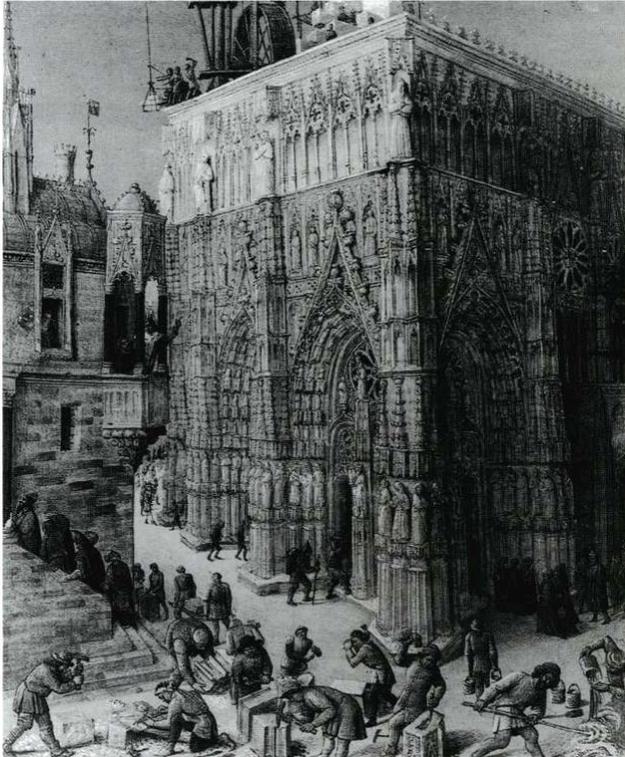
46- *Construction de la Tour de Babel*, mosaïque de la nef de la cathédrale de Monreale, vers 1185



D'après G. Binding, 1987 ; cf. Van Tyghem 1966, fig. 16 ; Du Colombier 1973, p. 57, fig. 33

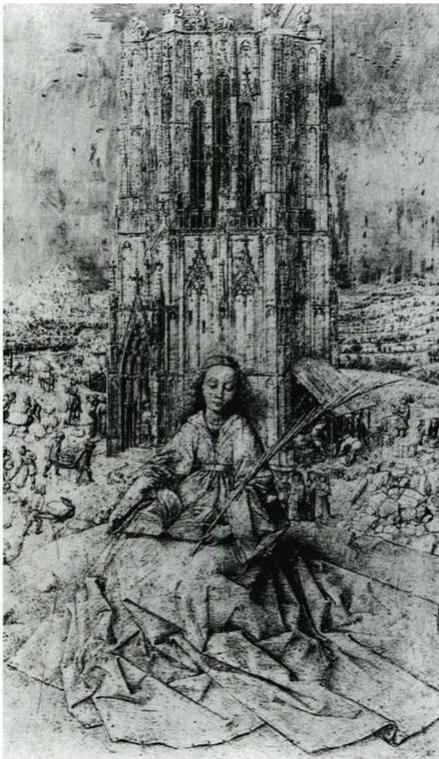
- 10 Dans ce contexte, on constate que les représentations du chantier médiéval, où les effets de la perspective sur la cohérence des proportions sont respectés, comme par exemple celle de la *Construction du Temple de Salomon* de Jean Fouquet (**fig. 47**), ou celle du chantier de la tour qui accompagne en tant qu'attribut la *Sainte Barbe* de Jan van Eyck (1437) (**fig. 48**), dépendent de modèles graphiques liés soit directement, soit par l'intermédiaire d'autres domaines comme l'orfèvrerie, au relevé architectural de leur époque⁴⁰.

47- Jean Fouquet *La construction du Temple de Jerusalem*



Ill. dans Flavius Josephus, *Antiquités et guerres des Juifs*
Paris, Bibl. Nat de France, Ms. fr. 247, f° 163

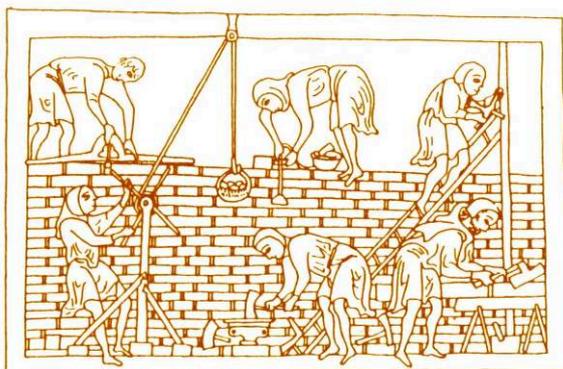
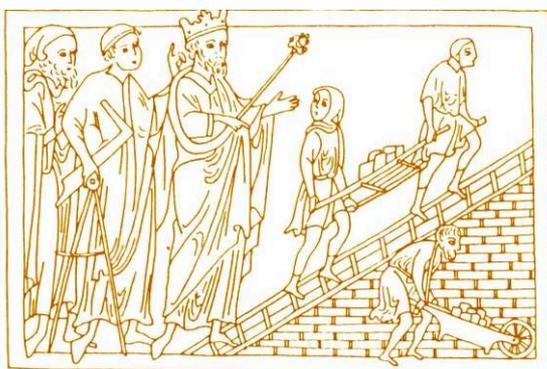
48- Jan van Eyck, *Sainte Barbe devant la tour* (1437)



KONINKLIJK MUSEUM VOOR SCHONE KUNSTEN, ANVERS (BELGIQUE)

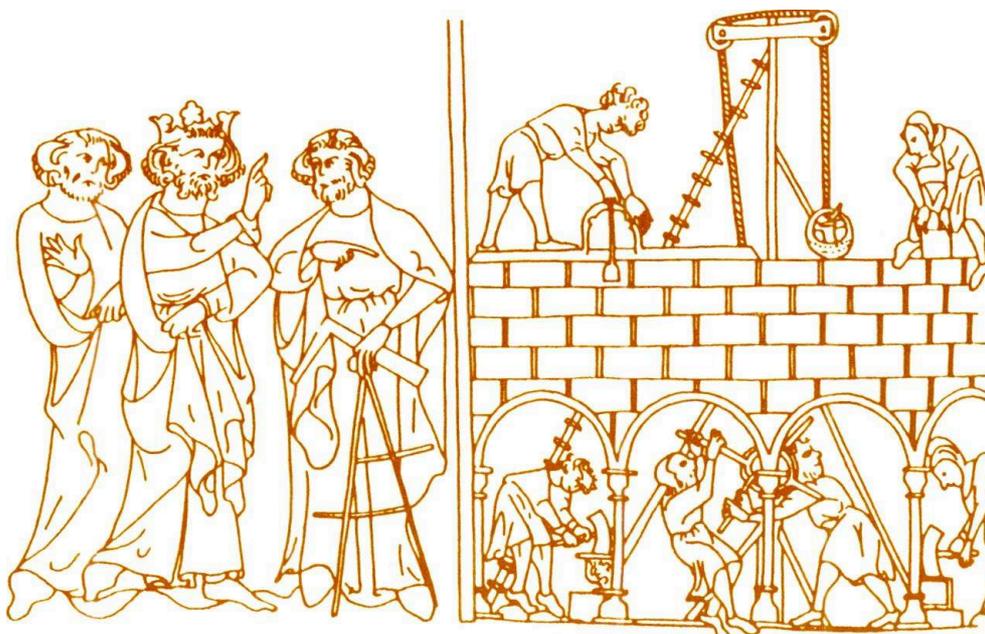
- 11 A l'évolution de la représentation architecturale s'oppose aussi un facteur de stabilité : celui de la copie d'un prototype donné, phénomène très important dans le domaine de la production des manuscrits enluminés. En comparant des images relevant d'un même prototype, on constate que l'intégration de nouveaux éléments se limite souvent à l'apport de détails, alors que la disposition générale du motif, et notamment celle de l'édifice représenté, restent inchangées. Ceci peut conduire à des anachronismes qui infirment la valeur de l'image comme témoin des réalités de son temps. Nous prendrons à titre d'exemple les représentations d'une visite du roi Offa sur le chantier de Saint-Alban dans deux copies de la *Vie de saint Alban Amphibale* de Matthieu Paris, respectivement du milieu du XIII^e (fig. 49) et du milieu du XIV^e s. (fig. 50). Cette dernière matérialise l'édifice en construction selon un schéma roman, tandis qu'elle emprunte à l'image du XIII^e s. la figure de l'architecte au compas d'appareilleur et à l'équerre, d'origine plus récente. Il peut en aller de même pour l'échafaudage : un *Speculum humanae salvationis* du milieu du XIV^e s. (Munich, Bayerische Staatsbibl., Cod. Lat. 146.; cf. Binding 1987, n° 340) montre une construction avec échafaudage en bascule selon le mode de représentation sans perspective qui caractérise des images analogues de la fin du XII^e s. - début du XIII^e s.

49- Visite du roi Offa de Mercie sur le chantier de Saint-Alban, Matthieu Paris, *Vie de saint Alban Amphibole*, vers 1250



Dublin, Trinity College Library, TLD 177, f° 59 v°. D'après G. Binding 1987, n° 168 ; cf. Van Tyghem 1966, fig. 27 ; Recht 1989, p. 25

50- Visite du roi Offa de Mercie sur le chantier de Saint-Alban, Matthieu Paris, *Vie de saint Alban Amphibole*, vers 1350



Londres, Brit. Mus., Cott. Nero DI, f° 23 v°. D'après G. Binding 1987, n° 267 ; cf. Van Tyghem 1966, fig. 57 ; Recht 1989, p. 39 ; Coldstream 1992, p. 12, fig. 11a, Erlande-Brandenburg 1993, p. 38

Les représentations du XIe siècle au début du XIIIe siècle

- 12 La majorité des représentations d'échafaudage étant postérieures au milieu du XIVe s., il nous a paru utile d'examiner à part les images de chantier du XIe au début du XIIIe s., période concernée par la plupart des études archéologiques sur lesquelles se fonde notre ouvrage.

De la non représentation de l'échafaudage

- 13 Dès le XIe s., la composition des images de chantier reflète l'énumération des travaux dans les textes. Ainsi, l'illustration de la *Reconstruction du Temple de Jérusalem* dans la *Bible de Roda* fait apparaître distinctement le travail des *operarii* ou *artifices*, comme le transport du matériau à la charrette, le travail des *lathomi* ou *lapicidae*, et celui des *cementarii*, en conformité avec leur évocation dans les textes contemporains (Mortet 1911, *passim*, Binding 1993, p. 15 sq., 268 sq., Renoux 1991, p. 453 sq., Schlink 1978, p. 167 sq.). Vers la seconde moitié du XIIe s., ces mentions sommaires et quelque peu stéréotypées sont remplacées par des descriptions plus précises et plus différenciées, suivies en cela, avec un certain retard, par les documents iconographiques.
- 14 Ce ne serait donc pas dû à un hasard si les représentations d'échafaudages restent rares jusqu'à la fin du XIIe s.. L'on peut reprendre l'illustration de la *Bible de Roda*, où des maçons travaillant à l'étage du Temple reçoivent des pierres à poser de la main de deux ouvriers restés au sol. L'édifice, dont le rez-de-chaussée s'ouvre par des arcades, est figuré selon un schéma abstrait que l'on retrouve dans la « *Tapiserie* » de Bayeux

(1075-1080), où les représentations de l'abbaye de Westminster et du manoir de Bosham synthétisent apparemment les élévations intérieures (les arcades appartenant à l'ordonnance du rez-dechaussée) et extérieures. La *Construction de la Tour de Babel* de Saint-Savin-sur-Gartempe (**fig. 45**) fait abstraction de l'échafaudage, alors que la hauteur de l'édifice est clairement suggérée : un des manoeuvres placé à l'étage de la Tour reçoit une pierre de la main d'un personnage surdimensionné - Nemrod en maître d'œuvre -, tandis qu'un autre emprunte un engin de levage placé à la hauteur du niveau de travail. Si de telles images restent sommaires ou abstraites, les sources écrites contemporaines deviennent plus explicites lorsque la description d'un accident de chantier donne l'occasion de mentionner les échafaudages, cintres et autres installations éphémères (Binding 1993, pp. 427-444 ; Mortet 1911, p. 35, note 3), et ceci parfois avec une précision étonnante (Mortet 1911, p. 130, p. 169). C'est ainsi que l'échafaudage prend une place essentielle dans le célèbre récit de la reconstruction du chœur de la cathédrale de Canterbury (1174-1185), rédigé en 1185 (Stubbs (1879/1880) 1965, Mortet 1911, pp. 207-228, Binding 1993, pp. 1-10), son instabilité étant la cause de l'accident du maître d'œuvre Guillaume de Sens. Vers la même époque, l'évêque Eystein de Nidaros-Trondjem se tue en tombant des échafaudages de sa cathédrale (Bur 1991, p. 239 ; voir la représentation d'un tel accident sur un vitrail de la cathédrale du Mans (**fig. 51**)). Ce contexte particulier expliquerait pourquoi un texte ou une image de l'époque se dispensent de l'évocation de l'échafaudage lorsque celle-ci paraît accessoire.

51- Le Mans, cathédrale Saint-Julien, d'après un vitrail de la baie 112



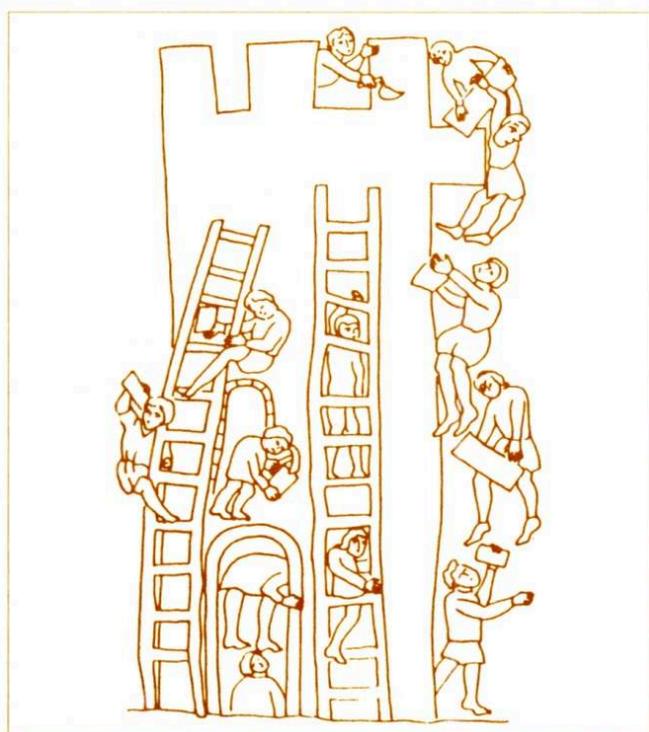
Le diable brise une perche, l'échafaudage s'effondre (échelles et platelage au sol)

- 15 En outre, l'aspect équivoque de certaines images du XIIe s. résulte de la difficulté à définir le rapport spatial entre les personnages et l'échafaudage dans son rapport

intime avec l'édifice⁴¹. L'échafaudage encastré à une rangée de perches et cinq niveaux de boulines superposés qui se greffe sur la *Tour de Babel* de *Monreale* (fig. 46), est en contradiction avec la représentation d'un personnage placé à pied d'oeuvre qui, tout comme à *Saint-Savin-sur-Gartempe* et dans la *Bible de Roda*, passe un bloc directement à l'un des deux maçons qui travaillent au sommet de la construction.

- 16 Ainsi, la non représentation de l'échafaudage pourrait-elle obéir à des impératifs picturaux : la structure charpentée à poulie du chantier de la *Tour de Babel* de *Saint-Savin-sur-Gartempe*, première image connue d'un tel engin de levage dans l'art de l'Occident médiéval (Binding 1986, p. 35 ; Binding 1993, p. 393)⁴², suggère une certaine hauteur, que l'édifice et le rapport entre les personnages placés à pied d'oeuvre et au sommet de la tour ne font guère apparaître. Inversement, un échafaudage semble implicite dans la représentation de la *Tour de Babel* inhabituellement élevée qui figure dans les mosaïques du pavement de la cathédrale d'*Otrante* (1163-66) (fig. 52), où l'on voit, à côté de l'édifice, des personnages superposés à intervalles réguliers, formant une chaîne pour monter des blocs jusqu'au sommet de la tour. On peut penser qu'il s'agit ici d'une représentation abstraite des niveaux de platelages successifs. L'accès à cette partie de la construction se fait à la fois par un dispositif interne, matérialisé par deux personnages superposés qui apparaissent dans l'ouverture d'une porte du rez-de-chaussée, et par deux échelles extérieures empruntées par des ouvriers portant des pierres sur les épaules. Entre elles est figuré un tailleur de pierre qui, faute d'échafaudage, paraît suspendu dans le vide, devant une arcade à l'étage au-dessus de la porte du rez-de-chaussée, une position qui semble le placer sur un niveau de circulation non représenté.

52- Otrante, cathédrale, mosaïque de pavement : *construction de la Tour de Babel* (1163-1166)



D'après G. Binding 1987, n° 403 ; cf Haug 1977, fig. 3

- 17 La mosaïque du *Palazzo dei Normanni* à Palerme (1166-1180) (Van Tyghem 1966, fig. 17 ; Binding 1987, n° 415) présente une Tour de Babel à deux étages en retrait munis de garde-corps où se tiennent des représentants, tous corps confondus, des différents métiers du bâtiment (maçon, manoeuvres, tailleur de pierre et charpentier). Cette image qui pourrait sous-entendre la présence d'un échafaudage, nous rappelle l'importance des appuis que peut offrir un édifice en construction lors de la mise en place des niveaux de travail.

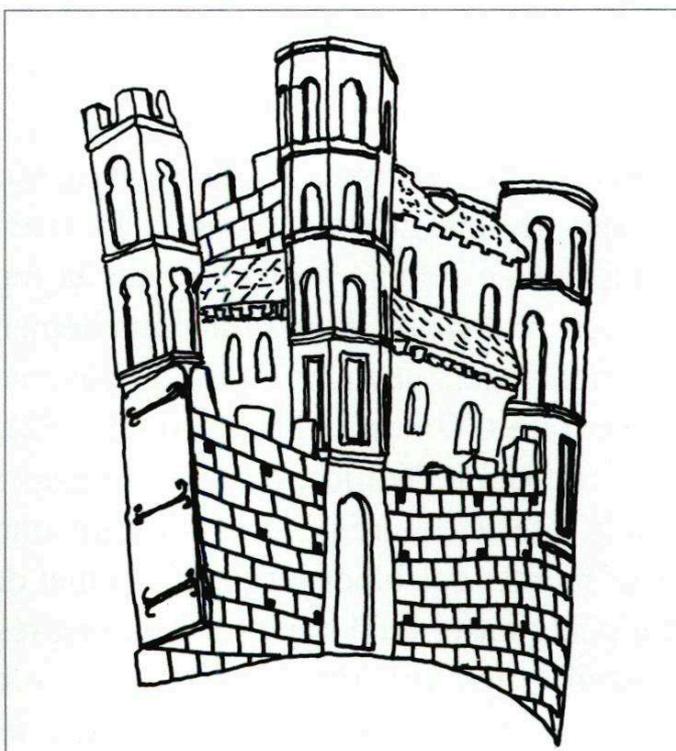
Les représentations antérieures à la seconde moitié du XIIe siècle

- 18 Ces réflexions en amont de notre étude peuvent aider à comprendre la rareté des représentations d'échafaudage avant la seconde moitié du XIIe s., une carence qui contraste avec l'importance réelle de l'échafaudage, notamment l'échafaudage encastré, dans la construction contemporaine. Certaines images romanes toutefois, à l'instar d'exemples antérieurs comme les mosaïques de Saint-Apollinaire-le-Neuf de Ravenne, intègrent l'aspect particulier des systèmes ordonnés de trous de boulin dans la représentation architecturale. Plusieurs chapiteaux du *cloître de Moissac* (daté de 1110) présentent des édifices dont les murs, courtines et tours sont parsemés de trous de trépan disposés très régulièrement. Au-delà de leur aspect décoratif, certaines forures figurent bien des trous de boulin :
- 19 Les remparts de la ville de *Jérusalem*, figurés sur un chapiteau de la galerie sud (**fig. 53**), montrent deux rangées superposées de trous de trépan repris au ciseau. Disposés à intervalles réguliers à la base de l'une des assises de la courtine, ils figurent des trous de boulin échancrés percés dans le lit de pose des blocs. D'autres détails, comme par exemple les crénaux en encorbellement de la courtine, confirment l'intérêt du sculpteur pour les éléments caractéristiques d'une construction de pierre. Par contre, les autres représentations d'architecture n'utilisent que des trous de trépan bruts. Si certains parmi ces derniers sont disposés dans les écoinçons d'arcades, emplacement fréquent pour des points d'appui d'un niveau de platelage encastré, l'ensemble de ces forures et leur disposition en échiquier traduisent ici un souci décoratif.

53- Moissac, cloître, galerie sud, support des baies 8/9 (est-ouest), face nord : *Jérusalem la Grande*



- 20 Plusieurs représentations d'édifices sur les chapiteaux des grandes églises auvergnates présentent le même type de trous carrés, disposés comme les trous de boulin par rangées horizontales superposées sur des enceintes, et sur les murs, tours et crénelages d'édifices. L'enceinte crénelée de *Jérusalem* sur un des chapiteaux du déambulatoire d'Issoire comporte trois niveaux de trous de boulin « échancrés », régulièrement répartis sur une figuration schématique d'*opus quadratum* (fig. 54). Il n'est toutefois pas sûr que son état actuel - outre la polychromie - ne résulte pas des campagnes de restauration du XIXe s. L'image reproduit les particularités du trou de boulin échancré, avec une précision étonnante : aux deux premières rangées, les trous sont tous taillés dans un des angles inférieurs des « blocs » ; au dernier niveau, plus rapproché du précédent que celui-ci du premier, ils sont taillés dans un des angles supérieurs. A l'église qui figure dans une scène de la *Vie de saint Nectaire* sur un chapiteau du déambulatoire de Saint-Nectaire (vers 1150 ?) (Craplet 1978, pl. 48), les trous de boulin de l'édifice et de l'enceinte crénelée qui entoure celui-ci sont taillés dans le lit d'attente au milieu du bloc. L'inhabituelle exactitude des détails de l'édifice, image-type d'une église de Limagne, prouve la familiarité du sculpteur avec les formes architecturales, et accuse le caractère intentionnel de la figuration des trous de boulin comme partie intégrante de l'appareil.

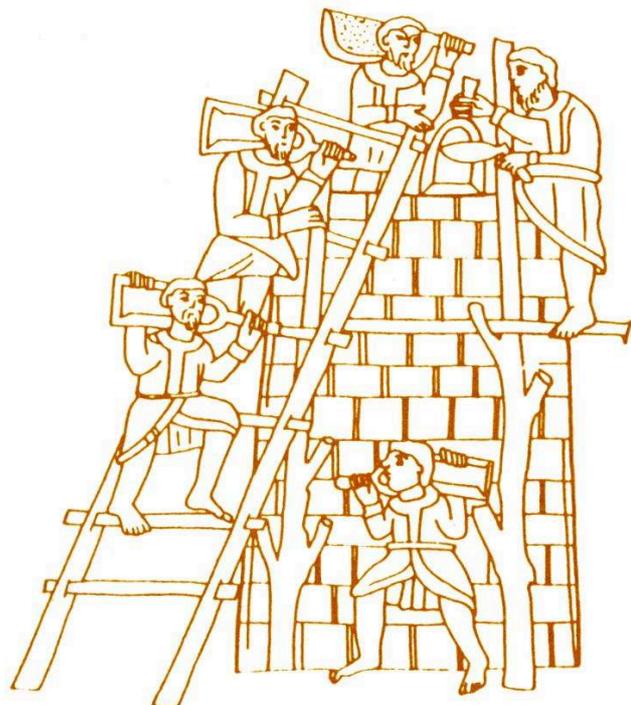
54- Issoire, église Saint-Austremonne, chapiteau du déambulatoire : *Jérusalem*

- 21 Plusieurs motifs architecturaux sur des chapiteaux de *Notre-Dame-du-Port de Clermont-Ferrand* (1100-1150) (Craplet 1978, pl. 15-18 ; Gimpel 1980, p. 71) assimilent des détails semblables au traitement décoratif, ce qui semble traduire une perception des trous de boulin apparents comme faisant partie du décor architectural.

Les types d'échafaudage dans l'image avant le milieu du XIIIe siècle

Échafaudage de pied

- 22 La plus ancienne représentation d'échafaudage dans l'art de l'Occident médiéval⁴³ semblerait être celle de la Tour de Babel d'un *De origine rerum* de Raban Maur (1022-1023) conservé au MontCassin (**fig. 55**). L'échafaudage retenu est d'un type très rarement représenté⁴⁴ qui utilise pour perche des grumes non affranchies, dont les fourches portent les moïses. Celle qui est représentée est équarrie, et soutient un maçon qui vide à la truelle le contenu d'une auge sur le lit d'attente de l'assise supérieure du mur. L'homme se tient de façon peu réaliste en porte-à-faux à côté de l'une des perches. La construction sommaire de l'échafaudage contraste avec les tenons traversants et mortaises d'une échelle empruntée par des manoeuvres, un mode d'assemblage soigné attesté par les restes d'un échafaudage de 1136/1137 retrouvés en fouille à Saint-Jean de Cerlier (Suisse) (**fig. 56**).

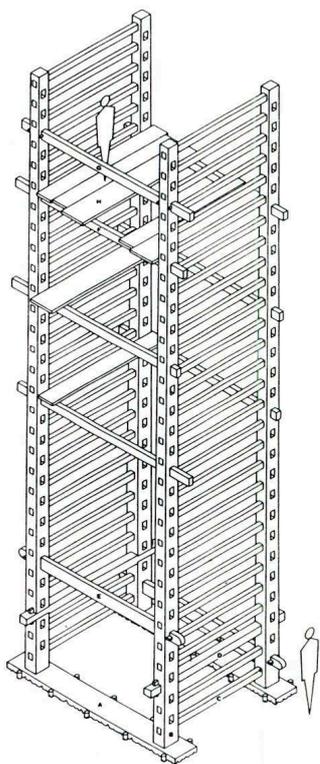
55- Raban Maur, *De origine rerum*, Mont-Cassin

Bibl., Cod. 132

D'après G. Binding 1987, n° 327 ; cf. Van Tyghem 1966, fig. 6 ; Du Colombier 1973, p. 8, fig. 3a (16) ;
Bechmann 1984, p. 255, fig. 4

- 23 La perche fourchue figure dans un manuscrit anglais (1125-1150 ?) (Aelfric, *Paraphrase du Pentateuque et de Josué*, Canterbury, abbaye de Saint-Augustin. Londres, Brit. Mus., Cott. Ms, Claudius B IV, f° 19 ; cf. Binding 1987, n° 265)⁴⁵ comme soutien d'un boulin encastré. Un ouvrier placé à ce niveau fait partie d'une chaîne qui, tout comme dans la *mosaïque d'Otrante*, effectue le levage des matériaux.
- 24 Bien que l'emploi d'échafaudage de pied soit attesté au nord des Alpes dès l'époque carolingienne (Binding 1993, p. 431-432), sa représentation semble pratiquement limitée à la seule Italie jusqu'à la seconde moitié du XIV^e s.

56- Saint-Jean de Cerlier : restitution de la structure charpentée d'après les vestiges trouvés en fouille



D'après Mojon 1986, p. 83, fig. 8

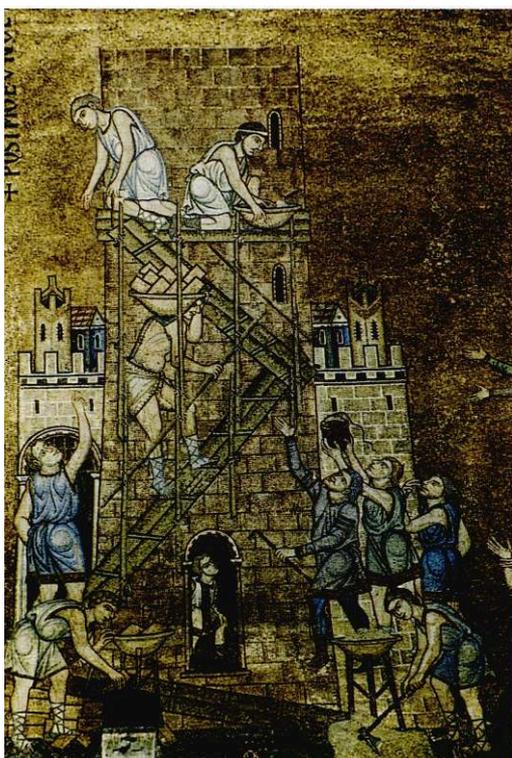
Échafaudage de pied à un rang de perches de type encastré

- 25 La *Tour de Babel* des mosaïques de *Monreale* (**fig. 46**) associe à un motif architectural fortement tributaire de conventions iconographiques, la représentation d'un échafaudage de pied à un rang de perches de type encastré. Celui-ci présente des détails d'assemblages précis. Dans l'iconographie architecturale romane, ce contraste entre une composition architecturale schématique, voire abstraite, et une reproduction fidèle d'éléments particuliers ne doit pas étonner, et les détails doivent être pris en considération pour étudier l'échafaudage médiéval. Représenté de part et d'autre de la tour et vu de profil sans autre développement spatial que celui de l'élévation, il comporte une rangée de perches sur lesquelles viennent se fixer cinq niveaux de boulins. Les ombres, indiquées sous forme d'épaisses bandes, diffèrent des doubles traits qui cernent les montants et les barreaux d'une échelle ou le manche d'un outil de gâchage, et pourraient indiquer des bois ronds. Les boulins, qui dépassent de l'alignement des perches, sont attachés à celles-ci par les ligatures attestées par les sources contemporaines. Les personnages qui, en raison des différences d'échelle, restent sans rapport avec l'échafaudage, accèdent aux niveaux supérieurs de l'édifice, et implicitement peut-être, des échafaudages, à l'aide d'une échelle, et par un escalier dont l'existence est suggérée à l'intérieur de la tour. La fréquence de la représentation de ce moyen d'accès paraît correspondre à une fonction réelle de l'escalier lors de la construction (voir aussi James 1977-1982, *passim*).

Échafaudage encastré en bascule sur perches suspendues

- 26 La *Tour de Babel* de Saint-Marc de Venise (1225-1250) (**fig. 57**) montre un échafaudage encastré en bascule auquel on accède par une succession de trois rampes soutenues par des perches qui ne prennent pas appui sur le sol. Le platelage sommital qui constitue le niveau de travail est rabattu dans le plan de l'image. L'existence de quatre boulins est suggérée par les ligatures qui les fixent aux perches, régulièrement espacées. Celles-ci s'arrêtent au-dessus du platelage à des hauteurs plus ou moins égales, et sont prolongées vers le bas par des aboutements, disposés tantôt à droite, tantôt à gauche de la perche, et dont la longueur croissante vers la gauche correspond à l'inclinaison de la seconde rampe. Sous celle-ci, représentée comme les deux autres en fausse perspective, semblent apparaître les extrémités de quatre boulins fixés au côté droit des perches, qui s'alignent avec ceux de la rangée supérieure. Le platelage est formé de trois planches sans lien transversal, chaque rampe de deux planches reliées par des échelons. Les deux rampes supérieures sont pourvues d'une main courante fixée aux perches, un dispositif de sécurité qui est absent des niveaux de travail. La disposition des rampes paraît suffisamment claire pour préciser leur position et le sens de la circulation : celle du second niveau longe le parement du mur, la troisième juxtaposée à la précédente et au platelage supérieur, s'écarte du mur. Cette disposition logique reste ambiguë. La figure d'un ouvrier disposée sur la seconde rampe, mais passant devant la troisième, trahit la difficulté de représenter l'organisation spatiale d'une structure particulièrement complexe.

57- Venise, cathédrale Saint-Marc



Mosaïque du porche occidental, représentant la construction de la Tour de Babel

Échafaudage encastré en bascule

- 27 Selon le recensement de G. Binding, et dans l'état actuel de la recherche, l'échafaudage à boulins sans perches n'est représenté qu'à partir de la seconde moitié du XIIe s.. Plus fréquent au nord des Alpes, ce type reste rare dans les sources iconographiques italiennes (Binding 1993, p. 428). Le plus ancien exemple cité par G. Binding provient d'un manuscrit de la Saxe supérieure daté de 1168-1180 (Saint Augustin, *De civitate Dei*, Schulpforte, bibl., Ms. lat. A 10, f° 3 ; cf. Binding 1987, n° 510). Il s'agit d'une tour ceinte d'une chemise crénelée sur laquelle vient se greffer un platelage rabattu dans le plan de l'image. Il est composé d'éléments - des planches ou des claies - disposés dans le sens de la longueur, et reliés entre eux à intervalles espacés par des pièces transversales.
- 28 Vers 1200 apparaissent les représentations d'échafaudages encastrés en bascule, vus de profil comme celui de la *Tour de Babel* de *Monreale*, dont les boulins sont soutenus par des aisseliers sans potelets, éléments structurels dont l'absence pourrait être due à la schématisation. Dans la *Bible de Manchester* (début du XIIIe s.) (**fig. 58**), les aisseliers droits sont engagés dans la structure horizontale qui résume le niveau de travail. Le *Psautier de Huntingfield* (vers 1200) (New York, Pierpont Morgan Library, Ms 43 ; cf. Van Tyghem 1966, fig. 12 ; Binding 1987, n° 354) présente des aisseliers courbes qui maintiennent le niveau de travail en son milieu. Les aisseliers « doubles » de l'échafaudage d'une *Tour de Babel* analogue dans un autre *Psautier anglais* (avant 1222) (Munich, Bayerische Staatsbibl., Cod. lat. 835, f° 10 ; cf. Van Tyghem 1966, fig. 24 ; Binding 1987, n° 346 ; Recht 1989, p. 66, fig. 7) font sans doute référence à la perspective. Ici, l'accès aux platelages se fait par des escaliers vus de profil, structures quelque peu énigmatiques, car abstraites, qui pourraient correspondre aux rampes en clayonnage munies de marches en bois qui apparaissent dans des illustrations du XIVe s..

58- Construction de la Tour de Babel, Bible française



Manchester, John Rylands lib., Ms. fr. 5, f° 16

D'après G. Binding 1987, n° 315 ; cf. Van Tyghem 1966, fig. 23 ; Gimpel 1980, p. 34

- 29 Comparés aux exemples du début du XIIe s., les édifices représentés dans ces images se développent nettement en hauteur. Aussi, le transport des blocs se fait-il par une échelle ou en empruntant des accès situés à l'intérieur des constructions (escaliers). Dans le *Psautier de Huntingfield*, le levage est effectué à la corde depuis les platelages. L'image de la *Bible de Manchester*, plus différenciée, fait intervenir une grue à double potence, qui prend appui sur le rez-de-chaussée de l'édifice. Elle est actionnée à la fois depuis le sol et depuis un platelage. Deux des quatre personnages, qui se tiennent sur l'échafaudage, empiètent sur la façade de la tour. Ceci pourrait suggérer soit un retour des platelages, soit un accès en hauteur. Le schéma équivoque de l'étage ou de la couverture d'un édifice comme dispositif pour la circulation en hauteur est d'ailleurs ancien : on le trouve déjà dans le *Psautier de Saint-Gall* (vers 850) (*Psalterium aureum*, Saint-Gall, Stiftsbibliothek, Cod. Sang. 22, f° 64.24 ; cf. Binding 1987, n° 540, Erlande-Brandenburg 1993, p. 13).
- 30 Si l'interprétation des structures architecturales dans de telles images reste arbitraire, le rendu très précis de l'outillage nous incite à prendre en considération les détails des échafaudages représentés. On retient ainsi l'absence de deux ou de plusieurs niveaux de platelages dans la plupart des représentations d'échafaudages encastrés sans perches. Les images plus tardives confirment cette particularité, qui attesterait ainsi la pratique du transfert des boulines et des platelages d'un niveau à l'autre, au fur et à mesure de l'avancement du chantier, telle que la suggère l'étude des trous de boulin.

Les structures symbolisant un échafaudage

- 31 Nous avons pu constater que les impératifs techniques, auxquels obéissent certains types de support, peuvent imposer une réduction de l'image du chantier à ses composantes élémentaires. Dans un tel contexte, il est possible que la présence d'une rampe d'accès, d'une échelle, d'un engin ou d'un personnage effectuant le levage implique l'échafaudage, sans que celui-ci soit explicitement représenté, ce qui caractérise en effet les images de chantier dans les domaines du vitrail, de la sculpture et de l'orfèvrerie des XIIe et XIIIe s.⁴⁶.

Les représentations de la seconde moitié du XIIIe siècle à la fin du XVe siècle

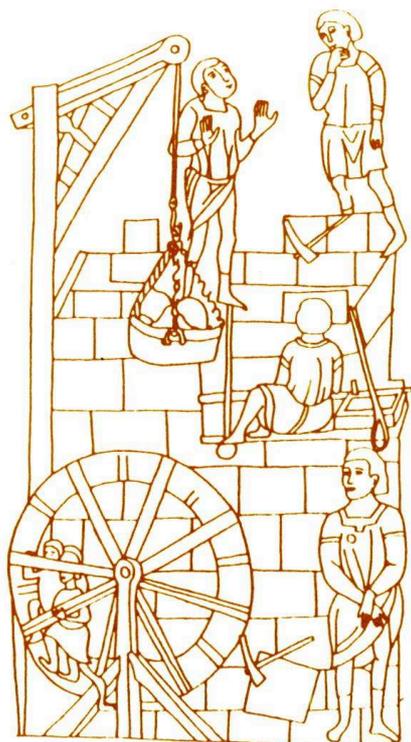
- 32 A partir du début du XIIIe s. s'amorce une évolution considérable de l'image du chantier : l'échafaudage, ou du moins les structures qui le symbolisent, et les engins de levage s'intègrent comme éléments caractéristiques dans un ensemble où les personnages, qui sont le reflet des divers postes du chantier, sont échelonnés dans un espace pictural où se développe une certaine cohérence entre l'architecture et les installations du chantier qui lui sont intimement liées. Par conséquent, ce sont surtout les documents de la fin du XIVe et du XVe s. qui permettent d'évaluer avec plus de précision le rapport entre la représentation de l'architecture, tributaire de conventions et, dans la plupart des cas, d'une lourde tradition iconographique liée au sujet, et les éléments d'échafaudage dont les composantes relèvent de ces détails du chantier dont la représentation minutieuse étonne déjà dans les images des XIe et XIIe s.
- 33 Compte tenu de la vaste étendue chronologique et géographique de notre enquête, et de l'impossibilité d'entreprendre l'analyse iconographique précise des images respectives, nous nous limiterons ici à la confrontation des représentations du XIIIe au XVe s. qui concernent les types d'échafaudage connus de l'étude archéologique.
- 34 Les exemples étudiés montrent un grand nombre de détails se rapportant à la construction d'un échafaudage : la forme, la section et les dimensions des bois, leur fixation à l'aide de ligatures, chevilles ou clous, l'emploi de taquets, ainsi que la nature des platelages, composés de claies ou de planches, simples ou juxtaposées, plus ou moins rapprochées ou espacées, et disposées parallèlement ou perpendiculairement au mur. Il est même parfois possible de déterminer le mode de débitage des billes de bois. On trouve aussi la représentation de dispositifs de sécurité (gardecorps, mains courantes...) et de moyens d'accès (échelles, rampes faites de planches ou de claies à échelons ou marches...).
- 35 Ces détails ne pouvant être dissociés du contexte de l'image, leur description restera liée à la présentation des types d'échafaudage suivants :

L'échafaudage volant

- 36 *La Tour de Babel* dans une *Histoire Universelle* de la seconde moitié du XIIIe s. (**fig. 59**) comporte un échafaudage encastré représenté, comme celui de la *Tour de Babel* d'un manuscrit de 1340-1350 déjà commenté, à cheval sur l'angle entre deux parements de la construction. Les deux boulines, qui soutiennent un platelage à l'angle de la tour, sont

maintenus par deux cordes qui forment une boucle autour de leurs extrémités, et qui semblent passer au-dessus du lit d'attente de la dernière assise du mur en construction. La position assise du maçon, maintes fois attestée, est obligatoire lorsque la hauteur de l'arase sur laquelle il oeuvre dépasse le platelage de peu.

59- *Construction de la Tour de Babel, Histoire Universelle, Dijon*



Bibliothèque municipale, Ms. 562, f° 9, r°.

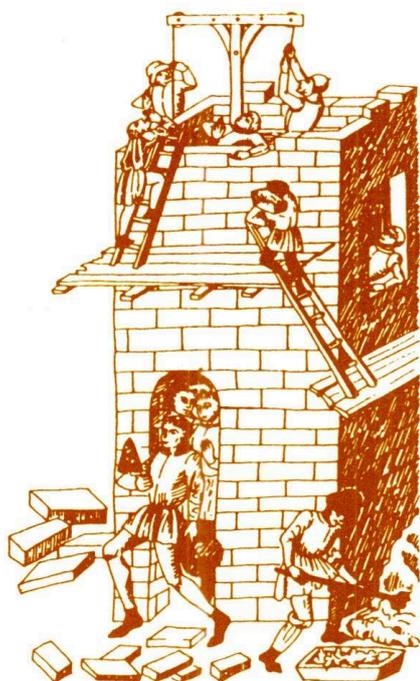
D'après G. Binding 1987, n° 159 ; cf. Van Tyghem 1966, fig. 30 ; Gimpel 1980, p. 79

L'échafaudage en bascule

- 37 Depuis le début du XIII^e s., l'échafaudage encastré sans perches est la forme la plus couramment représentée dans l'iconographie médiévale, comme l'illustre le grand nombre des exemples des XIV^e et XV^e s. dans les publications citées.
- 38 Le caractère sommaire, voire abstrait, d'un bon nombre de ces représentations semble être dû à leur valeur quasi emblématique : de nombreuses illustrations du XV^e s. reproduisent en effet invariablement le même platelage porté par deux boulins, qui deviendra aussi l'échafaudage-type de la plupart des images de chantier imprimées dans le dernier tiers du XV^e s. Un groupe d'exemples datés des années 1472-1480 (Binding 1987, n° 15, 24, 26, 27, 46, 652) montre que les dimensions de ces vignettes imprimées et les contraintes techniques de la gravure sur bois ont dû conditionner une restriction du chantier aux éléments significatifs. Aussi est-il douteux que la surface toujours réduite de l'échafaudage et l'absence fréquente d'aisseliers ou de perches correspondent à une réalité.
- 39 Certaines images de chantier du XV^e s. indiquent plusieurs échafaudages en bascule de largeur restreinte, greffés chacun sur une face distincte de l'édifice à des hauteurs

différentes. Les platelages dénivelés communiquent entre eux par des échelles, les niveaux inférieurs semblant servir de palier. Le rapport de ce type d'échafaudage spécifique avec la réalité du chantier, telle qu'elle se présente à travers les variations de l'organisation des trous de boulin dans une élévation, reste toutefois à vérifier. Il distingue un groupe d'images de la Tour de Babel des années 1460-1475 qui pourraient dériver d'un modèle commun, quoique varié dans ses détails. Deux versions analogues d'un *Recueil de textes de saint Augustin* (Paris, B.N., Ms. fr. 19, f° 81 v°, et Ms. fr. 27, f° 122 ; cf. Binding 1987, n° 453, 456) présentent une tour de plan carré, alors que plusieurs copies de *La Bouquechardière* de Jean de Courcy, dont deux exemplaires quasi identiques à Vienne (**fig. 60**) et à Chantilly (Musée Condé, Ms. 728 ; cf. Du Colombier 1973, p. 25, fig. 10 ; Binding 1987, n° 129), ainsi qu'un autre à Waddesdon Manor (Collection Rothschild, Ms. 11, f° 201 ; cf. Binding 1992, n° 601c), figurent une tour hexagonale.

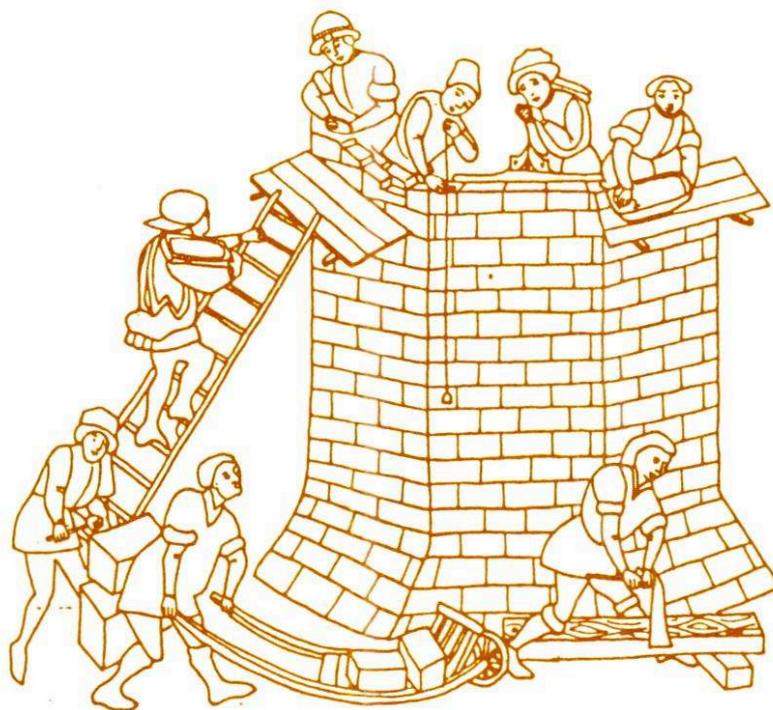
60- Jean de Courcy, *La Bouquechardière*



Vienne, Österreichische Nationalbibliothek, Cod. 2543, f° 218 r°. D'après G. Binding 1992, n° 619 c

- 40 Lorsqu'un platelage est représenté sans accès, il sert souvent à entreposer du matériel, comme les auges et les pierres. Ceci est illustré par une *Tour de Babel* des environs de 1470 (Berlin-Dahlem, Staatliche Museen, cabinet d'estampes, n° 63 ; cf. Van Tyghem 1966, fig. 155 ; Du Colombier 1973, p. 25, fig. 9, ici daté « vers 1430 » ; Binding 1987, n° 71 ; R. Recht 1989, p. 340). Une autre illustration (**fig. 61**) montre ce type de platelage en bascule au sommet du mur en construction, où une auge posée sur les planches sert à un maçon qui travaille depuis l'intérieur de la tour.

61-

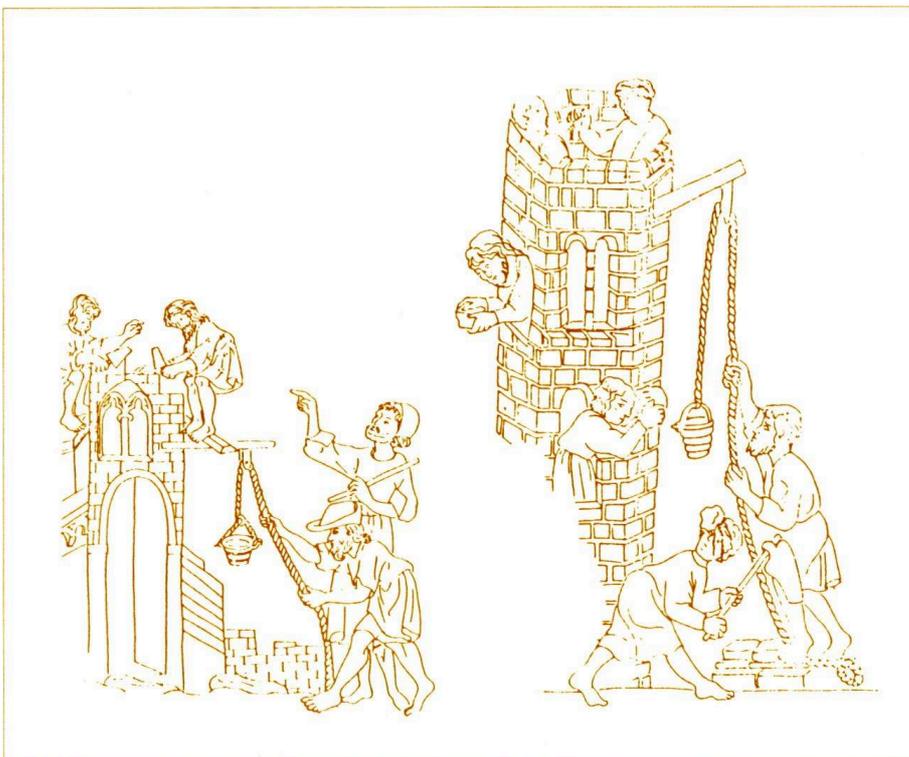


LONDRES, BRITISH MUSEUM, COTT. MS. AUG. A V, F° 22. D'APRÈS G. BINDING 1987, N° 262 ; CF. VAN TYGHEM 1966, fig. 134 ; COLDSTREAM 1992, p. 45, fig. 46

Les engins de levage en encorbellement

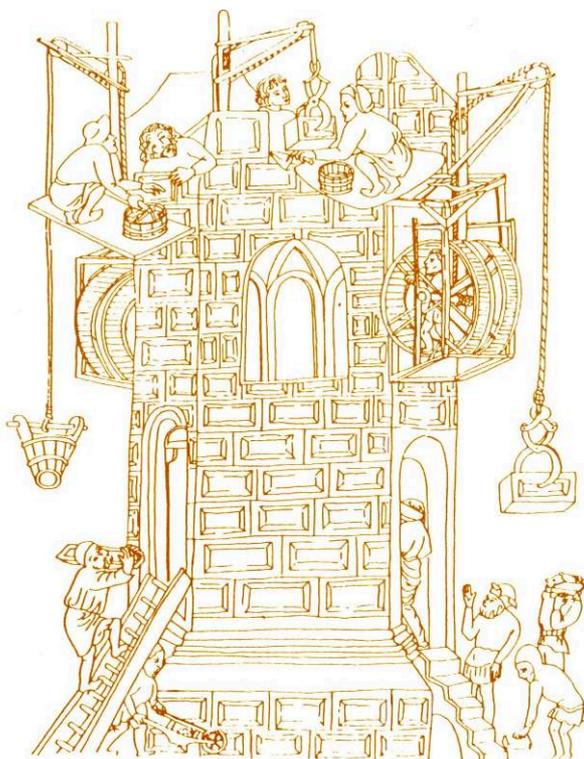
- 41 Si notre enquête exclut les engins de levage, l'étude iconographique ne peut toutefois faire abstraction des documents qui renseignent sur l'emploi de la technique de l'ancrage en bascule pour encastrer en encorbellement des engins de levage. Une *Haggadah d'Or* espagnole du début du XIV^e s. (**fig. 62**) présente à deux reprises un moufle fixé sur un boulin dont l'un soutient une volige servant de platelage. Le chantier de la *Tour de Babel* dans la *Bible de Wenceslas* (1390-1400) (**fig. 63**) dispose, en plus de ses échafaudages en bascule, de non moins de trois engins de levage en encorbellement, qui signifient l'envergure de l'édifice ambitieux. Aussi, la charpente des cages accueillant des roues à échelons et l'assemblage des grues sont représentés avec beaucoup de minutie, alors que leur lien avec la maçonnerie reste arbitraire. Un *Speculum humanae salvationis* rhénan de la seconde moitié du XIV^e s. (Nuremberg, Germanisches Nationalmuseum, Ms. 5970 ; cf. Van Tyghem 1966, fig. 69 ; Binding 1987, n° 363), souligne la parenté d'une telle structure avec l'échafaudage : un engin du même genre repose sur un plancher qui est identique au platelage de l'échafaudage en bascule encastré dans une autre face de la tour carrée.

62- Haggadah d'Or



Londres, British Museum, Add., Ms. 27210, f° 3 r° et 11 r°. D'après G. Binding 1987, n° 252-253 ; cf. Gimpel 1976, p. 54

63- Tour de Babel, Bible de Wenceslas



Vienne, Österreichische Nationalbibliothek, Cod. 2759, f° 10 v°. D'après G. Binding 1987, n° 628 ; cf. Van Tyghem 1966, fig. 68 ; Binding 1993, p. 413

L'échafaudage encastré

Boulines et trous de boulin

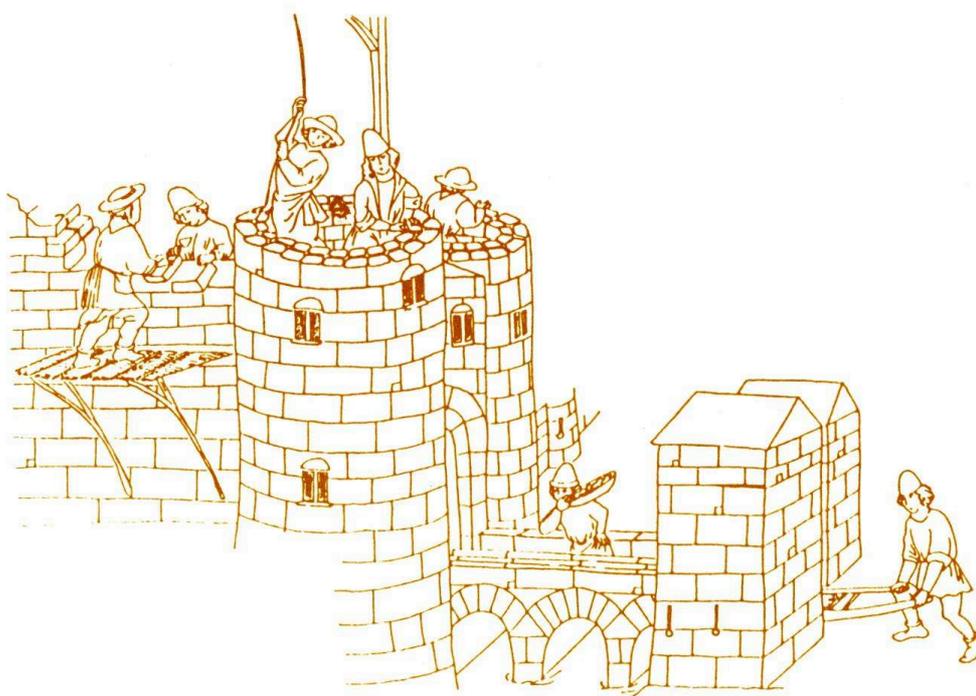
- 42 Il est tentant de chercher dans la représentation de la forme des bois d'échafaudage le reflet des sources textuelles et des rares données archéologiques. Les bois non façonnés paraissent traduire l'emploi du tout-venant. Un bon nombre d'images précise la section circulaire, carrée ou rectangulaire des boulines et perches qui peuvent, comme nous le verrons, varier dans un même échafaudage. Cependant, il demeure souvent impossible d'apprécier si cette différenciation est délibérée, c'est-à-dire si elle cherche à représenter la réalité du chantier. Une telle intention semble plus claire lorsque la représentation distingue un boulin rond engagé dans un trou carré, comme dans les *Heures Visconti* de la fin du XIV^e s. (Florence, Bibl. nat. Rinata, BR 367, f° 122 v ; cf. Binding 1992, n° 176 b).

Soutiens des boulines

- 43 La tendance plus ou moins affirmée vers une schématisation interroge sur l'absence d'aisseliers dans la majorité des représentations d'échafaudages en bascule. Or, il est douteux que cette carence corresponde bien à une réalité. On constate que les images les plus détaillées mettent en relief des structures d'appui et des contreventements complexes, en précisant parfois la forme des bois et le système de leur ancrage et de leur liaison.

- 44 Une illustration tirée d'un manuscrit français du milieu du XVe s. (**fig. 64 et 10**) montre l'emploi de bois non façonnés comme aisseliers pour un échafaudage en bascule. La construction s'effectue à partir de platelages situés au même niveau de part et d'autre d'une courtine. Du côté extérieur, deux branches fourchues de faible section soutiennent un platelage en clayonnage à l'aide d'une moise tordue. La forme irrégulière des bois est confirmée par le tracé des ombres sur le mur en pierre de taille, où apparaissent des trous de boulin échancrés à l'angle inférieur des blocs. Les aisseliers semblent être engagés dans des trous de boulin du même type, ce qui suggère l'emploi de ces derniers pour les boulines, ici invisibles, comme pour les aisseliers.

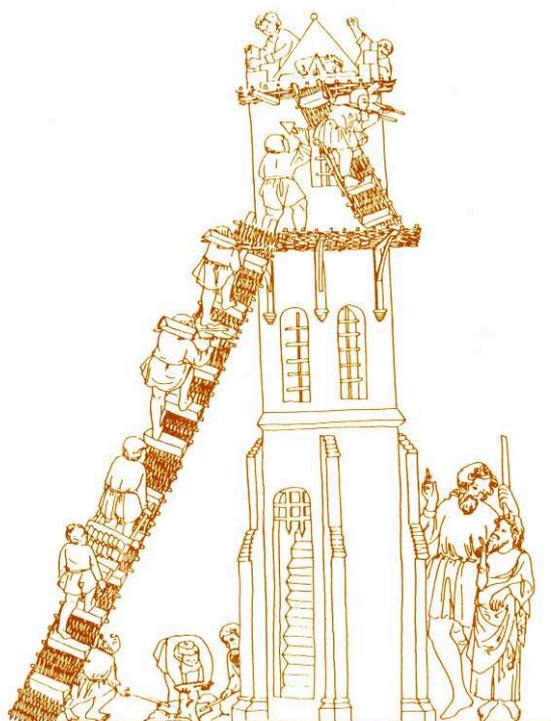
64-



MANUSCRIT FRANÇAIS, LONDRES, BRITISH MUSEUM, COTT. MS. AUG. A V, F° 51 V° D'APRÈS G. BINDING 1987, N° 263 ; CF. VAN TYGHEM 1966, fig. 133 ; COLDSTREAM 1992, COUVERTURE

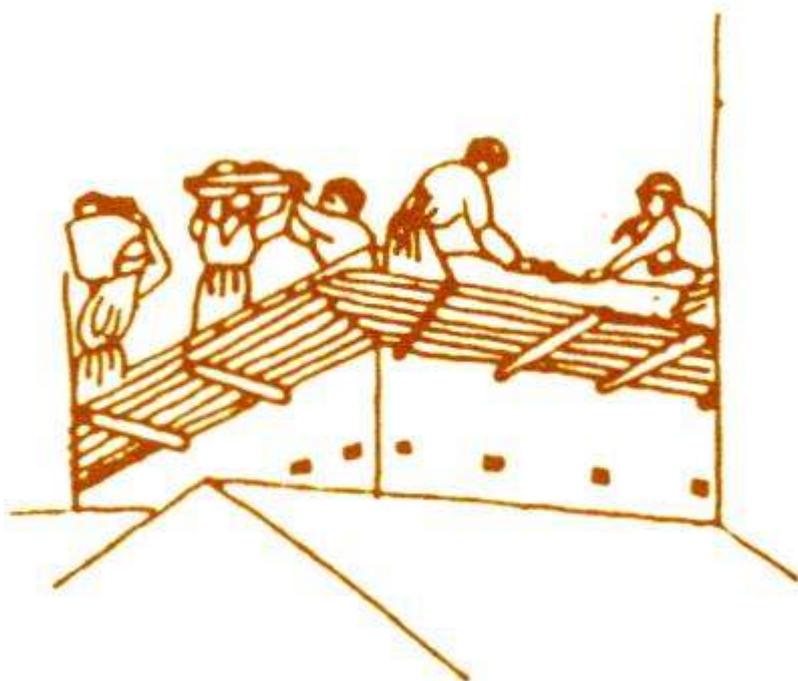
- 45 Aux aisseliers peuvent se substituer des raidisseurs plus complexes. La représentation de la *Tour de Babel* dans un manuscrit anglais des environs de 1300 (**fig. 65**) indique des équerres fixes appuyées sur des consoles, au-dessous d'un platelage en clayonnage. Plus courant est le raidissement de boulines superposés par des contreventements parallèles et/ou perpendiculaires au mur, comme l'illustre bien la *Tour de Babel* datée de 1473 citée ci-dessus. Comme Viollet-le-Duc l'a démontré pour le donjon du château de Coucy (Viollet-le-Duc 1854-1868, figs. 1-3) (**fig. 87**), cette technique utilise en effet un système de trous de boulin doubles. Or, l'exacte superposition des trous de boulin, qui est nécessaire pour l'emploi d'un tel système de raidissement, apparaît dans plusieurs représentations d'échafaudages en bascule, où les platelages sont par ailleurs continus sur tout le pourtour de la construction.

65- Construction de la Tour de Babel, manuscrit anglais



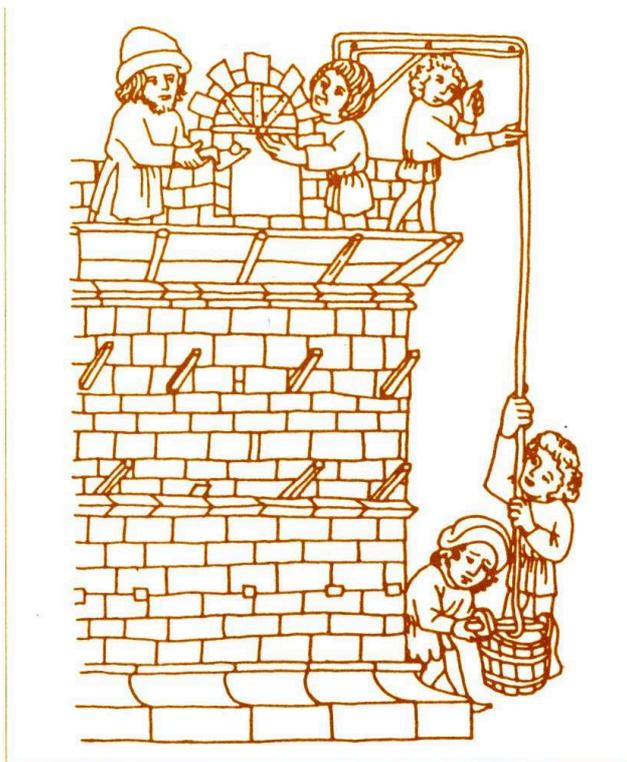
LONDRES, BRITISH MUSEUM, EGERTON MS. 1894, F° 5 v°. D'APRÈS G. BINDING 1987, N° 268 ; CF. COLDSTREAM 1992, P. 53, fig. 58

- 46 La *Tour de Babel* représentée dans un tableau de Sanders Bening daté de 1480 (La Haye, Het Mauritshuis, cat. n° 784 ; cf. Van Tyghem 1966, fig. 161 ; Binding 1987, n° 152), est munie de trous carrés au-dessous des boulins d'un niveau de travail entourant la construction de toutes parts. Dans l'image d'un chantier urbain de l'*Allégorie du Bon Gouvernement* d'Ambrogio Lorenzetti (1337-40) (**fig. 66**), ces trous s'alignent exactement sur les boulins au niveau supérieur. A un trou de boulin de taille réduite à proximité de l'angle de l'édifice correspond un boulin de plus faible section au niveau supérieur. Placé en biais, il soutient le chevauchement angulaire des planches d'un platelage continu, une technique confirmée par l'observation archéologique.

66- Ambrogio Lorenzetti, *Allégorie du Bon Gouvernement*, détail

Sienna, Palazzo publico, Sala della Pace. D'après G. Binding 1987, n° 520 ; cf. Van Tyghem 1966, fig. 58

- 47 D'autres illustrations présentent des boulins laissés en place au-dessous du niveau de travail.
- 48 Dans un *Speculum humanae salvationis* du milieu du XVe s. (**fig. 67**), on trouve une construction où s'échelonnent en hauteur trois rangées de trous de boulin échancrés. A un quatrième et dernier niveau, des boulins ronds soutiennent un platelage. Les deux niveaux précédents ont conservé la plupart de leurs boulins, de section carrée. Ce curieux détail apparaît encore plus clairement dans une *Annonciation de la collégiale de Heiligenkreuz* (vers 1400) (Vienne, Kunsthistorisches Museum, n° d'inventaire 239 ; cf. Binding 1987, n° 608). Des boulins laissés en place figurent quelquefois parmi les éléments qui résument un échafaudage dans les images de chantier imprimées (Peter Drach, *Spiegel menschlicher Behaltnis*, Spire, 1479, f° 137 v° ; cf. Van Tyghem 1966, fig. 158 ; Binding 1987, n° 522).

67- *Speculum humanae salvationis*

Vienne, Österreichische Nationalbibliothek, Cod. Series nova 12883, f° 110 v°. D'après G. Binding 1987, n° 639

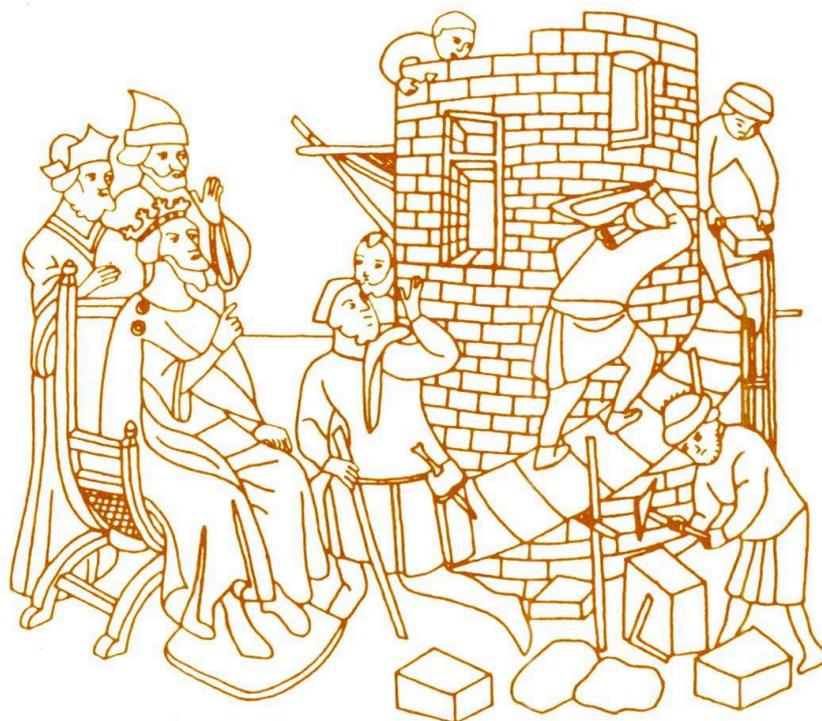
- 49 L'éventuelle utilité des boulins laissés en place est confirmée par le *retable de Saint-Wolfgang* de Michael Pacher (1471-1481) (Saint-Wolfgang, église paroissiale, volet extérieur droit du retable ; cf. Binding 1987, n° 546 ; Binding 1993, p. 317, fig. 86), où plusieurs niveaux de platelage servent à l'application d'un enduit.
- 50 Ici, le travail progresse de haut en bas, en enlevant les boulins et platelages au fur et à mesure. Ainsi, la partie déjà enduite s'arrête au dernier platelage qui est en cours de démontage. Dessous, d'autres niveaux de boulins sont encore en place, et seuls les platelages en rapport avec les surfaces utiles du mur ont été conservés : ils enjambent deux lancettes latérales sans englober une grande arcade centrale brisée.

Échafaudage encastré à une rangée de perches : échafaudage mixte

- 51 De nombreuses images de chantier du XVe s. confirment l'adaptation aux besoins spécifiques d'une même construction par l'emploi de différents types d'échafaudage, telle qu'elle est démontrée par l'archéologie monumentale. La plupart des exemples combinent l'échafaudage en bascule et l'échafaudage encastré à une rangée de perches.
- 52 Certaines représentations de la construction d'une tour circulaire à l'aide d'une rampe hélicoïdale mettent en évidence le remplacement des perches du niveau inférieur par des aisseliers au niveau supérieur, selon le célèbre procédé dont la construction du donjon de Coucy (vers 1225) est l'exemple le plus connu (**fig. 87**). N. Coldstream (Coldstream 1992, p. 52, fig. 56) en cite un autre avec le châtelet d'entrée du château de Harlech. Dans un *Recueil de textes de saint Augustin* français des environs de 1400 (Paris, B.N., Ms. fr. 21, f° 87 ; cf. Binding 1987, n° 454), des grumes non affranchies remplacent

les perches de la partie basse pour soutenir les boulins ronds d'une rampe en clayonnage. L'illustration très proche d'une *Historia scholastica* du début du XVe s. (**fig. 68**) indique au niveau inférieur de la tour une rampe de planches transversales sur des boulins liés à des perches qui dépassent chaque fois le niveau du platelage.

68- Guyart des Moulins, *Historia scholastica*



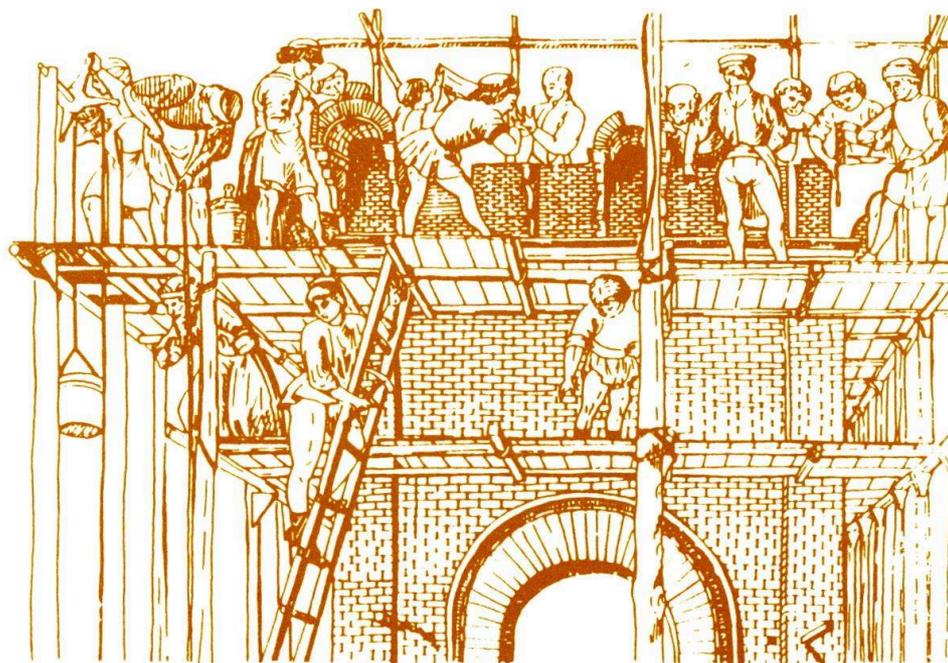
Londres, British Museum, Royal Ms. 15 D III, f° 15 v°. D'après G. Binding 1987, n° 281 ; cf. Van Tyghem 1966, fig. 94, cf. aussi fig. 90 de cet ouvrage

- 53 Si l'échafaudage encasté à une rangée de perches figure, au même titre que le platelage installé en encorbellement sur deux boulins, parmi les éléments fortement schématisés, il apparaît souvent dans des images de chantier qui renseignent avec minutie sur des structures complexes, ce qui permet de préciser le rapport entre la construction de l'échafaudage et celle de l'édifice. Destiné à servir sur toute la hauteur de la construction projetée, l'échafaudage l'entoure souvent de toutes parts. Les longues perches peuvent largement dépasser le niveau du dernier platelage, prévoyant ainsi l'évolution du chantier.
- 54 La célèbre image de la construction des murs de Jaffa dans une *Chronique de Jérusalem* réalisée avant 1467 pour Philippe le Bon de Bourgogne (Vienne, Österreichische Nationalbibliothek, Cod. 2533, f° 17 ; cf. Van Tyghem 1966, fig. 118 ; Binding 1987, n° 619 ; Recht 1989, p. 74) montre avec précision les types de contreventements nécessaires pour raidir un échafaudage de grandes dimensions : les échafaudages de deux des tours de l'enceinte conservent un niveau de moises, raidies sur une travée par des aisseliers, à la hauteur d'un platelage démonté dont les trous de boudin apparaissent dans le parement du mur. Entre ces moises et celles du niveau de travail excédé par les hautes perches, se croisent des contreventements. La construction de la courtine, moins avancée, se fait depuis des platelages plus bas. De longues perches,

enfoncées dans le fossé et raidies à leur base, annoncent le progrès de la construction, au même titre que la rangée de trous de boulin destinés à recevoir le niveau de travail suivant.

- 55 Les boulins, directement attachés aux perches dans la plupart des images, peuvent être fixés à l'aide de tasseaux et de moises.
- 56 Dans une illustration d'un exemplaire flamand des *Facta et dicta memorabilia* de Valère Maxime (1470/1475) (Bruges, Groote Seminarie, 158/189 ; cf. Binding 1992, n° 98 a ; Binding 1993, p. 445, fig. 194) un édifice est démoli à l'aide d'un échafaudage encastré, constitué d'un assemblage de bois équarris et de ligatures. Ici, les deux boulins prennent appui sur une moise soutenue par deux tasseaux chanfreinés cloués sur la face antérieure des deux perches. Ces dernières, calées dans des trous de poteau, sont raidies par deux croix de Saint-André que sépare une moise intermédiaire.
- 57 Dans un échafaudage encastré, on peut limiter l'emploi des perches à des emplacements stratégiques, sans que l'on ait à soutenir chaque boulin avec une perche ou un aisselier.
- 58 L'extraordinaire échafaudage qui entoure la *Tour de Babel* de Benozzo Gozzoli au Camposanto de Pise (1468-1485) (fig. 69), possède des perches très espacées. Liés aux moises, les boulins, de section circulaire ou carrée, sont tantôt libres, tantôt attachés à l'une d'entre elles, soutenus par des tasseaux et serrés à l'aide de cordages contre le flanc de la puissante bille affranchie.

69- Benozzo Gozzoli, *Construction de la Tour de Babel*, Pise, Camposanto



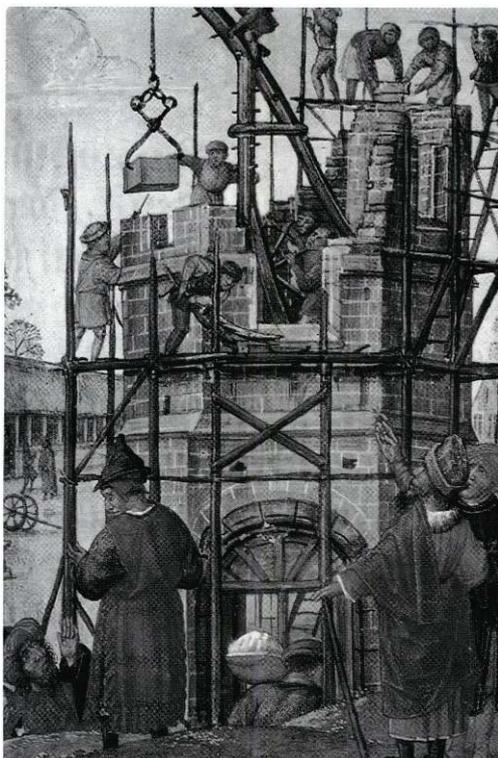
D'après G. Binding 1992, n° 477 a et couverture ; cf. Binding 1993, p. 438, fig. 190

- 59 Le maintien de plusieurs niveaux de platelages paraît caractériser un échafaudage comme très élevé. Puisque la représentation d'une telle installation complexe demande une maîtrise de la perspective et du rapport entre la représentation architecturale et

celle des composantes de l'échafaudage, les images qui les attestent se distinguent par leur qualité inhabituelle.

- 60 Dans la *Tour de Babel* de Gozzoli figure un avant-dernier platelage resté en place sous le niveau de travail sommital. La perspective linéaire suggère assez clairement que l'écart entre les deux niveaux est trop réduit pour que les deux personnages qui se tiennent sur le platelage inférieur puissent se redresser. L'image confirme donc l'observation du bâti qui atteste la succession de niveaux de trous de boulin à intervalles serrés, bien inférieurs à la hauteur d'homme. Les platelages sont ici composés de planches perpendiculaires au mur qui reposent sur deux moises parallèles, structure inhabituelle qui permet de ménager des trappes pour une échelle et pour la corde d'un treuil à contrepoids dont l'arbre est engagé dans deux perches très rapprochées. Le chantier de la *Tour de Babel* dans les *Heures de Spinola* (vers 1460) (note 39), représentation encore plus complexe, indique non moins de sept niveaux de platelages. Au premier, les puissantes perches à jambages, disposées aux angles et au centre du mur, maintiennent les moises d'un platelage sommaire, posées sur des taquets biseautés. A la hauteur d'un premier étage de la tour, les moises du second niveau sont soutenues par des boulines de section ronde dont les aisseliers sont engagés dans les trous de boulin d'une rangée inférieure. L'illustration atteste à nouveau l'emploi de perches sans contact avec le sol : au deuxième et au cinquième niveau, une perche supplémentaire s'appuie sur un boulin équarri de plus forte section. Les contreventements, disposés sans rigueur apparente, sont formés d'aisseliers, de liens et de croix de Saint-André, fixés par des ligatures ou par des clous et chevilles.
- 61 Dans d'autres cas, des boulines laissés en place au-dessous du niveau de travail servent à amarrer des perches très longues, sans que le platelage correspondant soit maintenu. Le témoignage de ces représentations pourrait expliquer l'utilité de trous de boulin ou de rangées de trous de boulin isolés dans une élévation.
- 62 Dans une illustration d'un *Livre de Rustican des prouffiz ruraux* de la fin du XVe s. (Londres, British Museum, Add., Ms. 19720, f° 27.60 ; cf. Van Tyghem 1966, fig. 135 ; Binding 1987, n° 251 ; Erlande-Brandenburg 1993, p. 38-39), les boulines d'un premier platelage sont toujours en place alors que ceux des deuxième et troisième niveaux ont été démontés, à moins d'être éclipsés par la perspective. L'absence des contreventements habituels paraît intentionnelle, puisque l'image indique méticuleusement les taquets biseautés fixés à la perche angulaire sur lesquels viennent s'appuyer les moises.
- 63 Le montage d'un échafaudage en fonction de la structure de l'édifice et de sa mise en oeuvre est illustré dans un *Livre d'Heures* flamand de la fin du XVe ou du début du XVIe s. (fig. 70). Ici, la surélévation d'un échafaudage que l'on encastre au fur et à mesure du progrès de la construction, est représentée avec une exceptionnelle richesse de détails. Mais cette surélévation reste limitée à une avancée partielle des travaux.

70- Construction de la Tour de Babel, Livre d'heures



By permission of the British Library, Ms. Add., 35313, f° 34. Voir détail en couverture

- 64 Cette représentation illustre la construction d'une tour polygonale entourée de toutes parts d'un échafaudage encastré à une rangée de perches. Ces dernières dépassent la hauteur de l'édifice, et apparaissent donc également à l'arrière-plan. Les perches étayées au sol s'amincissent vers le haut et se terminent à des hauteurs différentes, mais toujours supérieures au niveau de travail. L'organisation de l'échafaudage, de ses ancrages et des moyens d'accès reflètent le même rapport étroit avec le bâti que démontre l'étude archéologique des élévations. Une première rangée de moises est placée à la hauteur de deux trous de boulin de section rectangulaire intégrés dans l'assise qui nivelle les appareils du mur au-dessus de l'arc d'une porte au rez-de-chaussée. Celle-ci sert d'accès, bien que son arc soit encore sur cintre. Le platelage du niveau de travail, de plein-pied avec l'appui d'une baie située au premier étage de la tour, repose sur des boulins difficilement identifiables, car ils sont doublés d'une seconde rangée de rondins qui reposent sur les moises soutenues par des tasseaux. Dans la partie droite, où la construction laissée en attente est avancée jusqu'au sommet d'un second étage, deux ouvriers sont en train d'exhausser l'échafaudage : l'un, qui travaille sur le platelage sommital à côté de deux maçons, cloue un tasseau sur une perche plus haute que lui. Le platelage étant encore trop court, le second ouvrier, qui met en place une moise, ne peut atteindre le même niveau qu'à l'aide d'une échelle. Celle-ci est posée sur le platelage précédent et appuyée contre une perche aboutie, que raidissent deux ou trois rangées de moises sur taquets et des contreventements.

L'échafaudage de pied indépendant : l'apport de l'iconographie

- 65 Si l'étude de l'échafaudage encastré peut se fonder sur la comparaison critique de l'interprétation des images avec la restitution de l'échafaudage, de ses appuis et de l'organisation de la circulation d'après l'étude du bâti, nos connaissances de l'échafaudage indépendant relèvent davantage de l'iconographie. La relative rareté des données archéologiques pose alors le problème d'une approche critique des sources iconographiques, dont le rapport avec la réalité reste plus difficile à évaluer.
- 66 Les images de chantier proposent plusieurs types d'échafaudage indépendant, dont certains ne sont pas de nature à laisser des traces permanentes au sol : l'échafaudage à double rangée de perches, les platelages sur tréteaux et de véritables plateformes charpentées qui se distinguent d'un échafaudage ordinaire par l'assemblage soigné de bois équarris, et par l'absence de perches dépassant le niveau de travail, auxquelles peuvent se substituer de véritables poteaux portant sablière. La largeur du platelage, toujours représenté sous la forme d'un assemblage de planches, apparaît, par conséquent, plus importante que celle d'un platelage courant. La régularité et la solidité de cette structure, soulignées par la forme et les dimensions des bois mis en oeuvre, par des liaisons à tenons et mortaises, et par l'importance des contreventements, laisse supposer qu'il s'agit de constructions préassemblées, démontables et mobiles.

Échafaudage à double rangée de perches

- 67 Si la plupart des représentations d'échafaudage de pied ne montrent qu'une seule rangée de perches, il est difficile de déterminer si cette prédominance reflète une réalité, ou si elle traduit avant tout un besoin de simplifier la représentation complexe des doubles rangées de perches. Force est en effet de constater que des échafaudages de pied indépendants ne figurent en général que dans des illustrations tardives où la perspective est traitée avec une aisance inhabituelle.
- 68 Dans un exemplaire des *Chroniques et conquêtes de Charlemaine* de Jean de Tavernier du milieu du XVe s. (Bruxelles, Bibliothèque Royale, Ms 9068, f° 289 ; cf. Van Tyghem 1966, fig. 121 ; Binding 1987, n° 106 ; Recht 1989, p. 26) (**fig. 2**), le chantier de la *Fondation d'une abbaye par Charlemagne* présente simultanément les deux types : la construction de la nef est effectuée à partir d'un échafaudage à deux rangées de perches, et celle du choeur à partir d'un échafaudage à une rangée de perches. C'est une des représentations les plus riches en renseignements sur les détails de montage, tels qu'ils ont été vus et mis en évidence par le miniaturiste.
- 69 Contre le mur gouttereau de la nef, représentée sous la forme d'une travée unique, s'appuie un échafaudage à double rangée de perches, bloquées au sol dans des trous à l'aide de coins, et dont les deux travées sont raidies par deux rangées de croix de Saint-André séparées par des moises. Un grand lien transversal est tiré sur toute la hauteur d'une perche angulaire à l'autre jusqu'à la moise du platelage sommital. Une déformation de la perspective fait apparaître les tasseaux de la moise, fixés sur le côté arrière des perches.
- 70 Si l'échafaudage du choeur polygonal, séparé du précédent par une travée non échafaudée, ne possède qu'une seule rangée de perches, il semblerait qu'il soit doublé par un échafaudage indépendant placé à l'intérieur, dont le platelage du niveau de

travail est situé à la même hauteur. La représentation n'est, à cet égard, équivoque qu'en un seul point : au-dessus du platelage dépasse une perche supplémentaire dans l'angle du contrefort du second plan absidal, élément peu cohérent qui pourrait être le fait d'une erreur. La construction de cet ensemble est semblable à celle de l'échafaudage de la nef.

- 71 Comme celle des *Heures de Spinola*, l'image est riche en détails qui précisent les modes d'assemblage. Les contreventements sont tantôt cloués (ou chevillés), tantôt attachés aux moises et aux perches avec des ligatures tendues à l'aide de gastons fichés dans les noeuds. Les deux types de fixation peuvent être employés sur un même bois, et l'image ne laisse pas apparaître de système régulier.
- 72 Aucune représentation précise d'un échafaudage à double rangée de perches ne semble faire référence à un encastrement de boulins. Les deux systèmes sont contemporains, ils peuvent cohabiter sur un même chantier, mais ils relèvent tous deux de besoins différents.

71- *Grandes Chroniques de Saint-Denis*



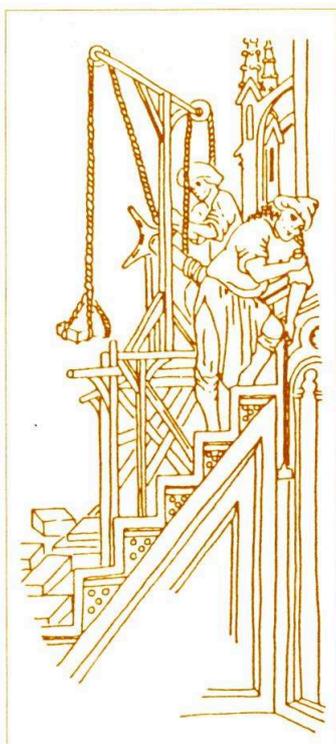
Toulouse, Bibl. municipale, Ms. 512, f 96

- 73 Une enluminure des *Grandes Chroniques de Saint-Denis* du début du XVe s. (**fig. 71**) reste toutefois équivoque : l'un des boulins de l'échafaudage indépendant se prolonge au-delà de la seconde rangée de perches jusqu'à l'aplomb du mur, sans qu'il ne paraisse s'y engager. Une série de traits - représentation schématique des ligatures ? - brouille la position précise du bois non équarri, qui semble être placé au-dessus du platelage.

Plate-formes charpentées

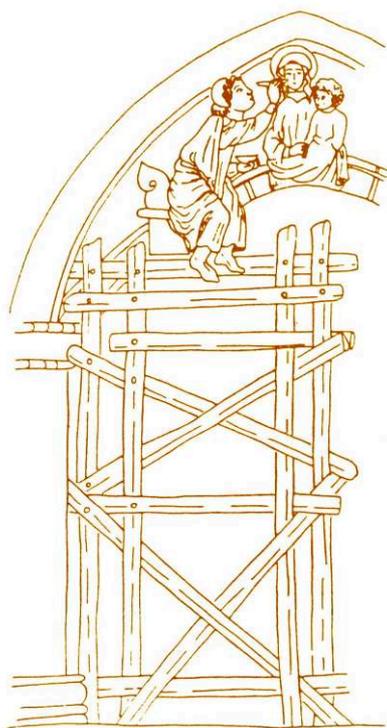
- 74 Une plate-forme charpentée figure souvent à côté d'autres types d'échafaudage dans une même image. Toutefois, cette diversité ne semble pas toujours correspondre à des besoins spécifiques liés à la construction, car elle peut aussi illustrer la grande variété des installations du chantier, au même titre que l'outillage et les fonctions affectées aux personnages.
- 75 La *Tour de Babel* du manuscrit de 1473 résume l'échafaudage par quatre structures dissemblables, disposées autour des quatre faces de la tour à des hauteurs différentes. Une plate-forme charpentée placée derrière l'édifice représente le niveau de travail le plus bas.
- 76 Les images de chantier associent des plates-formes charpentées essentiellement à la construction des parties basses des édifices lorsque celles-ci ont dépassé la hauteur d'homme.
- 77 Les *Secondes Chroniques de Hainaut* (vers 1468) (Bruxelles, Bibli. Royale, Ms 9243, f° 168 ; cf. Van Tyghem 1966, fig. 151 ; Binding 1987, n° 115 ; Binding 1993, p. 29, fig. 16) montrent la mise en oeuvre d'un édifice dont les murs atteignent une hauteur inégale : au premier plan, deux maçons travaillent à même le sol, alors que deux autres, à l'arrière-plan, se tiennent sur une plate-forme posée contre le parement interne d'un autre mur dont la construction est plus avancée. La plate-forme, large de deux travées, est robuste, construite en bois droits équarris, les poteaux d'angle étant de plus forte section que les moises hautes et basses et les contreventements en croix de Saint-André sur le devant. La représentation, peu claire dans les menus détails, suggère que les contreventements assemblés en croix à mi-bois sont embrevés dans les moises.
- 78 De solides structures charpentées du même type apparaissent également comme support d'engin de levage.
- 79 Il en va ainsi pour deux illustrations des *Très Riches Heures du Duc de Berry* (Chantilly, Musée Condé, Ms. 65). Celle du Psaume 12 (**fig. 72**) montre une grue posée sur le plancher d'une haute plate-forme charpentée. Dans la *Construction du Temple* qui accompagne le Psaume 98 (f° 35 v ; Longnon/Cazelles 1970, n° 31 ; Binding 1992, p. 19, n° 126 a), une solide superstructure charpentée avec grue en potence surmonte une plate-forme sur perches plus sommaire.

72- Les Très-Riches Heures du Duc de Berry, Chantilly



Musée Condé, Ms. 65, f° 49 v°. D'après G. Binding 1987, n° 126 ; cf. Lognon/Cazelles 1970, n° 47

- 80 Une représentation précoce d'une plate-forme charpentée figure dans une illustration des *Cantigas de santa Maria* d'Alphonse le Sage, datée du troisième quart du XIIIe s. (**fig. 73 et 80**). Assez élevée, elle est ici utilisée pour l'exécution d'un décor peint au-dessus d'un arc. Son assemblage, qui n'est pas sans rappeler celui de la construction charpentée du XIIe s. retrouvée à Saint-Jeande-Cerlier⁴⁷ (**fig. 56**), est réalisé avec des bois chevillés, dont l'enchevêtrement peu réaliste semble vouloir reproduire l'échelonnement dans l'espace des deux rangs de perches, de leurs moises et de leurs contreventements. La solidité de l'ensemble est toutefois mise en cause dans une seconde image qui illustre son effondrement (**fig. 80**), même si celui-ci est occasionné par l'intervention personnelle du Démon, qui cherche en vain à faire périr l'artiste. Un curieux détail est le beau siège à dossier décoré, installé sur le platelage pour le confort du peintre.

73- Alphonse le Sage, *Cantigas de santa Maria*

Madrid, Escorial, Biblioteca real, Ms. T I,1.
D'après G. Binding 1987, n° 299 ; cf. Gimpel 1980, p. 101

Les utilisations particulières d'un échafaudage

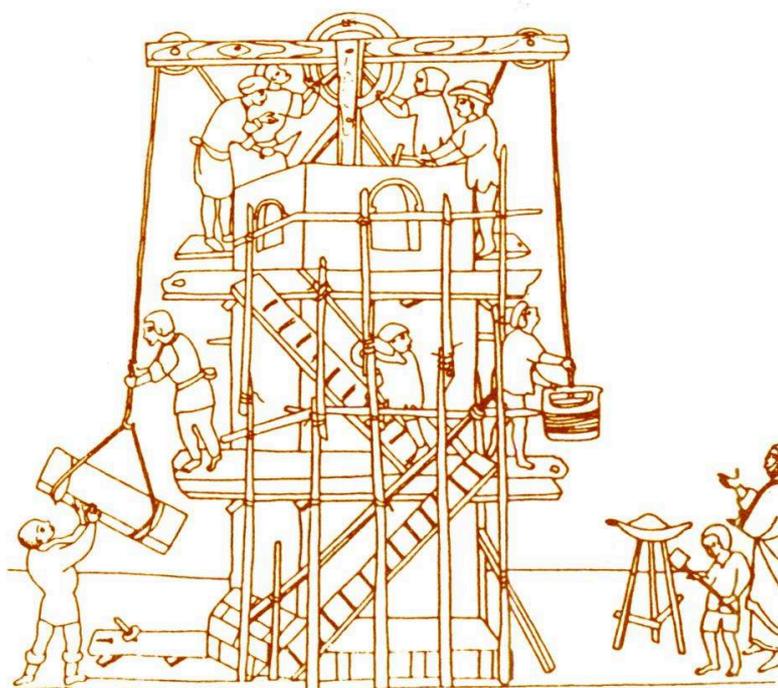
- 81 Si la plupart des représentations de chantier associent l'échafaudage à la construction, nous avons présenté des exemples qui illustrent l'emploi d'échafaudages indépendants, à bascule ou encastrés à un rang de perches pour enduire ou décorer un édifice. Il en va de même pour l'entretien et la réparation, et l'image des *Facta et dicta memorabilia* de Valère Maxime nous rappelle qu'il faut également échafauder pour démolir. L'iconographie confirme ainsi l'observation archéologique, puisque la réutilisation tardive des ancrages d'un échafaudage encastré, laissés en évidence ou marqués sur l'enduit, comme à Cluny III, est attestée par la date de certains boulins trouvés *in situ*.

Les moyens d'accès et la circulation d'après l'iconographie

- 82 L'iconographie reste la source documentaire principale pour la restitution des accès et de la circulation sur l'échafaudage. Si l'accès peut se faire par l'édifice lui-même, une fonction que certaines représentations de la Tour de Babel idéalisent en faisant évoluer autour de la construction un plan incliné en spirale, les images représentent surtout des échelles et des rampes à échelons, plus ou moins inclinées, les rampes étant souvent semblables aux platelages auxquels elles sont associées.
- 83 L'échelle, adaptée à des contextes variés, est simplement posée contre le platelage sans être attachée. Par contre, la rampe à échelons, beaucoup moins inclinée, exige de

solides appuis, ainsi qu'une organisation rigoureuse des circulations, qui alternent souvent de palier en palier. Cette disposition, déjà observée dans la mosaïque de la *Tour de Babel* de Saint-Marc de Venise (fig. 57), caractérise aussi la *Tour de Babel* d'une *Histoire Universelle* de 1385 (fig. 74). Enfin, l'accès à l'échafaudage de la *Tour de Babel* dans la *Bible de Borso d'Este* (1452-1479) (fig. 75), se fait par de longues rampes qui alternent d'une perche angulaire à l'autre, chacune d'elles étant soutenue à deux endroits par une paire de courtes perches posées sur le platelage, structure non insolite qui revient dans une enluminure tchèque du XVe s. (Van Tyghem 1966, fig. 128 ; Binding 1987, n° 673). Plus solidement charpentée est la rampe utilisée pour la construction d'une tour d'enceinte dans une illustration d'un *Livre du Gouvernement des Rois et des Princes* de 1430-1440 (Paris, Bibliothèque Sainte-Geneviève, Ms. 1015, f° 1 ; cf. Binding 1987, n° 429). Le dessin d'une rampe d'accès dans une *Histoire universelle* bavaroise (vers 1410) (Heidelberg, Universitätsbibliothek, cod. pal. germ. 336, f° 49 r° ; cf. Binding 1987, n° 201) suggère que ses planches transversales soient cloutées ou chevillées sur des longerons.

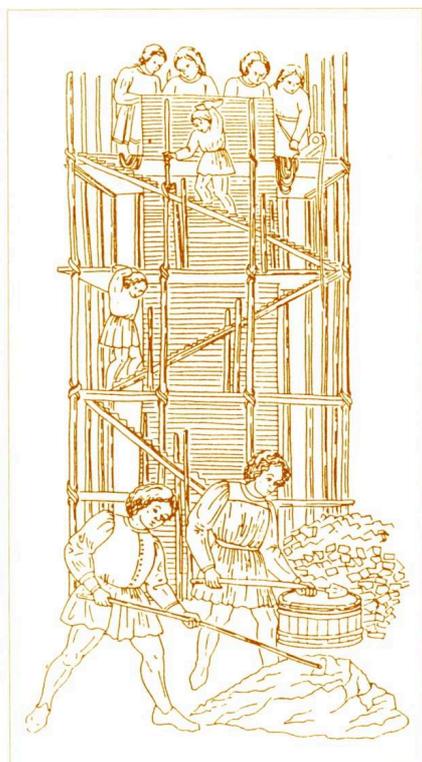
74- Construction de la *Tour de Babel*, Rudolf von Ems, *Histoire Universelle*, Kassel



Landesbibliothek, Ms. theol. 4, f° 28 r°.

D'après G. Binding 1987, n° 214 ; cf. Van Tyghem 1966, fig. 80 ; Recht 1989, couverture et p. 337, A 4 ;
Erlande-Brandenburg 1993, couverture

75- Construction de la Tour de Babel, Bible de Borso d'Este, Modène



Biblioteca Estense, Ms. V G 11, vol. 1, f° 9 r°. D'après G. Binding 1987, n° 319 ; cf. Van Tyghem 1966, fig. 159

- 84 Si les rampes et les platelages qui leur servent de palier sont ici constituées de planches, bien d'autres images du même type attestent l'emploi exclusif de claies : l'exemple anglais des environs de 1300 (**fig. 65**) apporte des précisions sur leur forme, et suggère qu'un solide clayonnage permet même d'obtenir des structures de longue portée. Alors que la plupart des images indiquent des baguettes transversales intégrées dans la claie⁴⁸ les rampes du manuscrit anglais comportent de véritables marches d'escalier, sortes de traverses de section triangulaire engagées dans les claies que nous avons déjà comparées aux rares mentions d'escaliers dans les textes contemporains (*supra*). Ce type d'aménagement apparaît parfois sous une forme très schématisée, s'il n'est pas éclipsé par la perspective, comme dans l'image de la *Bible de Borso d'Este*. On peut, à titre d'exemple, se reporter à deux représentations approximativement contemporaines (vers 1325/1330) dans un *Speculum humanae salvationis* de l'abbaye de Kremsmünster (Vienne, Stiftsbibliothek, Codex Cremifarnensis 243, f° 38 r°; cf. Binding 1987, n° 232).

La sécurité

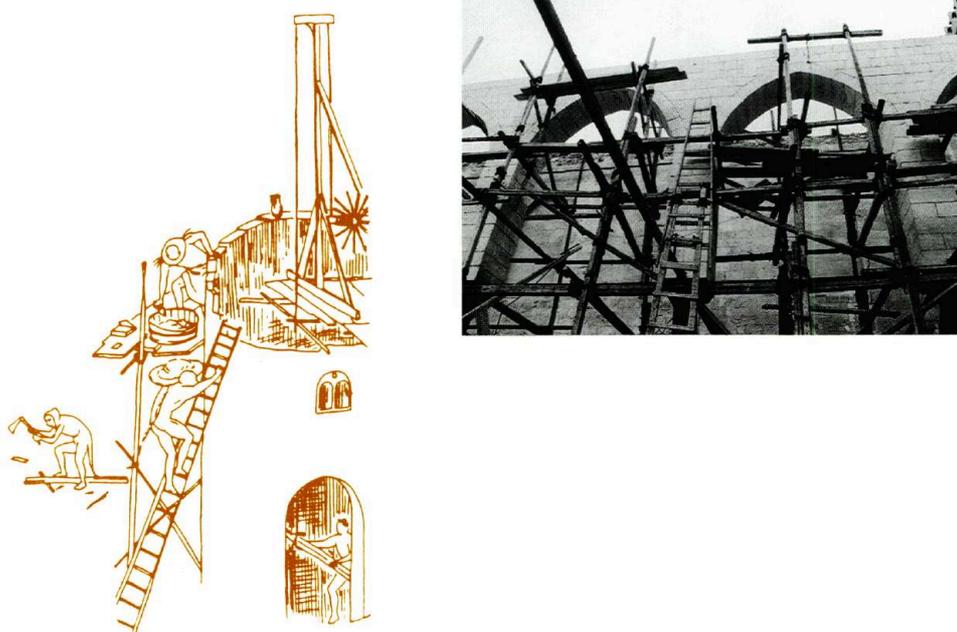
- 85 Les dispositifs de sécurité ne font pas partie des caractéristiques essentielles de l'échafaudage dans l'image médiévale. Leur rareté étonne peu, compte tenu de l'absence d'aménagements équivalents dans certaines structures permettant la circulation en hauteur dans les édifices eux-mêmes. Ils figurent parfois sous la forme de garde-corps ou de mains courantes limités aux accès, comme les ponts dans la *Reconstruction des murs de Jaffa*. Comme l'échafaudage de la *Tour de Babel* de *Saint-Marc de*

Venise (**fig. 57**), celui représenté dans *l'Histoire universelle* de 1385 (**fig. 74**) est muni de rampes à garde-corps attachés aux perches. Ici, ce dispositif de sécurité s'étend exceptionnellement sur l'ensemble des platelages autour de l'édifice.

Conclusion

- 86 Troisième volet de notre approche, l'étude iconographique est à la fois complément et résultat de l'analyse archéologique et de celle des textes, conjonction sur laquelle se fonde l'évaluation de la portée des données respectives et des limites de leur interprétation.
- 87 Nos observations ont montré la richesse des informations que livrent les images de chantier sur les échafaudages anciens. Si la plupart des types d'échafaudage, qui figurent dans les nombreuses sources iconographiques de l'époque gothique tardive, sont déjà attestés par celles, beaucoup plus rares, qui sont antérieures au milieu du XIII^e s., et donc contemporaines des chantiers étudiés, la plupart des informations portant sur les matériaux et leur mode d'assemblage proviennent des représentations tardives. Le poids des thèmes, des traditions iconographiques, et celui de l'héritage que véhicule, en le transformant, l'enluminure, influent de façon décisive sur l'image, facteurs auxquels s'ajoutent la qualité très inégale de la production, novatrice ou non, les échanges entre les divers domaines artistiques, et les modifications qu'imposent les contraintes de forme propres aux différents types de supports : on peut ainsi rallonger à souhait la liste des paramètres dont une étude iconographique approfondie devrait tenir compte, et qui limitent les possibilités d'une confrontation avec les données archéologiques et textuelles.
- 88 Si la perspective, linéaire ou empirique, permet à certaines images du XV^e s. de décrire avec une grande précision l'organisation d'ensemble et les détails d'assemblage d'un échafaudage, il reste dangereux de limiter l'analyse à de telles représentations tardives dont la qualité, souvent à la mesure de celle du commanditaire, reste exceptionnelle. Puisque le souci d'exactitude fut sans doute considéré comme l'un des garants de cette qualité, ce sont toutefois ces images qui peuvent nous donner une idée au moins partiellement juste des pratiques du chantier de leur époque. Quant aux images courantes, leur caractère redondant interdit d'y reconnaître un reflet fidèle de la réalité, mais elles mettent en évidence les éléments essentiels de l'échafaudage, susceptibles de rendre aisément compréhensible un type d'image conventionnel. A ce titre, elles résument ce qui était perçu comme caractéristique de l'échafaudage, de son rapport avec l'édifice, et de l'usage que l'on pouvait en faire dans une construction.

76-



a) Triptyque du Chariot à foin (vers 1485-1490), J. Bosch. L'enfer, détail : construction d'une tour, inspirée du thème de la Tour de Babel. G. Binding (1987), n° 281, d'après la version du Prado, Madrid, b) Mosquée d'Al-Mu'ayyad (1415-1420), échafaudage sur l'arcade du portique septentrional, 1996

- 89 La permanence des techniques d'échafaudement aide à évaluer l'apport de l'image pour la recherche archéologique. En s'inspirant du thème de la Tour de Babel pour *l'Enfer* de son célèbre triptyque du *Chariot à foin* (**fig. 76a**), Jérôme Bosch retient du schéma iconographique les mêmes éléments qui caractérisent encore aujourd'hui l'échafaudage en bois traditionnel : les boulines et moises attachés à de longues perches à contreventements et soutenant un seul platelage sommital sommaire, l'absence de dispositifs de sécurité, la longue échelle sans palier intermédiaire, se retrouvent dans l'échafaudage d'un chantier de restauration au Caire (Egypte) (**fig. 76b**) ; exemple contemporain dont les aboutements, attestés par de nombreuses sources iconographiques médiévales, et l'organisation en fonction du bâti, confirment aussi nos restitutions d'échafaudages à partir de l'étude des élévations.
- 90 Essentielle pour l'interprétation des textes et des observations archéologiques, l'étude de l'iconographie de l'échafaudage médiéval reste avant tout un outil au service de ces deux approches. La fiabilité de l'image, tributaire de traditions iconographiques, d'influences multiples et de contraintes formelles, est souvent arbitraire, et la redondance de certains schémas de figuration trompeuse. Aussi, la valeur de l'image dépend-elle de son rapprochement avec les données archéologiques et textuelles, et l'étude iconographique ne peut répondre à elle seule aux questions qui se posent à une recherche future : le caractère commun ou rare des différents types d'échafaudage représentés, leur contexte régional et chronologique, ainsi que l'influence de l'envergure du chantier sur le système d'échafaudage adopté.

NOTES

37. Nous remercions vivement M. Gunther Binding de nous avoir autorisé à reproduire ici les dessins tirés des importants catalogues et articles publiés sous sa direction (Binding 1972 a-b ; 1978 ; 1985,1.1, pp. 171-183 ; 1986, pp. 33-41 et 247259 ; 1987 ; 1990, pp. 158-176 ; 1992), auxquels se rajoute une récente synthèse due au même auteur (Binding 1993). Une grande partie des images publiées par G. Binding figure dans les ouvrages et articles suivants (pour une bibliographie complémentaire voir Binding 1987) : Van Tyghem 1966, Du Colombier 1973, Gimpel 1980, Vandekerchove 1989, Recht 1989, Coppola 1991, Coldstream 1991 (où l'origine des images non datées n'est pas précisée), Erlande-Brandenburg 1993. Il va sans dire que ces approches centrées sur les XIIIe, XIVe et XVe. utilisent le document iconographique comme simple illustration. Nous renvoyons à ces différentes références pour les images non représentées.

38. Amiens, Bibl. municip., ms. 23, f° 116 r° et une autre image du même ms. sans référence précise. La composition architecturale de ces deux illustrations manifestement archaïsantes accuse la copie d'un modèle plus ancien (fin du XIe ou début du XIIe s. ?). Il semble en être de même pour les images de la tour de Babel dans le groupe d'*Histoires universelles* allemandes du XIVe s. : Munich, Bayer. Staatsbibliothek, Cod. germ. 11, f° 15 r° ; *ibid.*, Cod. germ. 4, f° 25 r° ; *ibid.*, Cod. germ. 5, f° 29 r°, qui dérivent apparemment d'un même archétype.

39. Cf. notamment une *Construction de la Tour de Babel* dans les *Heures de Spinola* de l'atelier de Gerard Horenbout (Gand ou Mecheln, vers 1515, d'après V. Euw/Plotzek 1979, t. II, n° IX, 18) (Recht 1989, p. 27, Erlande-Brandenburg 1993, p. 123). Ancienne collection G. Ludwig, IX, 18, f° 32. Malibu, The J. Paul Getty Museum.

40. On a depuis longtemps constaté la ressemblance de cette tour avec la tour méridionale inachevée de la cathédrale de Cologne (voir E. Dhanens, 1980, pp. 264-265), un rapprochement qui peut être précisé : si la composition de la "*penschilderij*" de van Eyck n'en est pas la reproduction fidèle, elle fait néanmoins apparaître avec une précision suffisante les formes distinctives des couronnements à cinq trilobés du remplage des fenêtres et les trois lancettes aveugles des gâbles de la tour de Cologne : détails qui sont exécutés avec une finesse et une technique proches de celles du dessin architectural contemporain.

41. On peut, à titre d'exemple, se reporter à la position spatiale arbitraire des deux personnages placés de part et d'autre de l'Arche de Noé dans le panneau du *Déluge* de la nef de *Saint-Savin-sur-Gartempe* (voir l'interprétation quelque peu abusive faite dans Riou 1984, p. 29, fig. 30).

42. Un engin semblable figure déjà dans une illustration de la *Construction du Temple* dans un psautier grec du Xe s. (Paris, B.N., Psautier Gr. 20, f° 4, Ps. 95 ; cf. Du Colombier, 1973, p. 7, fig. 2, Erlande-Brandenburg 1993, p. 119) (voir note 43).

43. L'image de chantier du psautier grec précité (voir note 42) présente une poulie fixée sur une structure charpentée figurée sous la forme d'une traverse portée par des poteaux. Un personnage se tient debout sur celle-ci, ce qui semble sous-entendre qu'elle matérialise aussi un platelage. Au-dessus de l'arcature du rez-de-chaussée, il est possible d'identifier une rangée de trous de boulins. Certains détails comme la forme de la poulie et les personnages semblent relever d'une source antique.

44. Un échafaudage du même type figure dans une image de chantier très semblable dans une *Histoire universelle* française du début du XIIIe s.(?) (Paris, B.N., Ms. fr. 9685 ; cf. Erlande-Brandenburg 1993, p. 28), qui dépend probablement d'un modèle plus ancien. Ici, les fourches servent aussi à la suspension d'un treuil, et la liaison des perches et des moises, qui indiquent en même temps des niveaux de platelage, est assurée par des clous ou des chevilles. Un échafaudage à perches brutes apparaît aussi dans un tableau de Piero di Cosimo, exécuté vers 1487-1492 (Binding 1987, p. 353, n° 404) : le thème mythologique de cette oeuvre du Quattrocento et la

référence à Vulcain expliquent le caractère volontairement rustre de la construction, un personnage herculéen travaillant même avec une massue.

45. La date indiquée par Binding "deuxième quart du XIe s." est improbable et relève apparemment d'une erreur d'imprimerie : le style des personnages et la composition de l'ensemble indiquent plutôt une date postérieure à la fin du XIe s.

46. Les vitraux du premier tiers ou de la première moitié du XIIIe s. accusent le caractère conventionnel de ce type d'image. Nous citons l'exemple des cathédrales d'Auxerre (chevet, chapelle Notre-Dame, *La légende de Théophile* ; Binding 1992, p. 1, n° 31a), de Bourges (déambulatoire extérieur, *Lazare et le mauvais riche* ; Binding 1987, n° 90 ; Gimpel 1980, p. 55), de Beauvais (chapelle de la Vierge, *La légende de Théophile* (Binding 1987, n° 51 ; vitrail non localisé ; Gimpel 1980, p. 31 ; Binding 1987, n° 52) et de Chartres (collatéral sud, *Les miracles de Notre-Dame* ; Binding 1985, n° 10 ; 1987, n° 136 ; déambulatoire, *Histoire de saint Silvestre* ; Delaporte/Houvet 1926, pl. 81 ; Du Colombier 1973, p. 17, fig. 5a ; Binding 1987, n° 137 et n° 147 ; déambulatoire, *Histoire de Charlemagne* ; Delaporte/Houvet 1926, pl. 107 ; Binding 1987, n° 140 ; déambulatoire, *Histoire de saint Thomas* ; Delaporte/Houvet 1926, pl. 137 ; Binding 1987, n° 144 ; déambulatoire, *Histoire de saint Julien l'Hospitalier* ; Binding 1987, n° 143 ; chapelle septentrionale du choeur, *Histoire de saint Chéron* ; Delaporte/Houvet 1926, pl. 123 ; Du Colombier, p. 17, fig. 5b ; Binding 1987, n° 141 ; vitrail non localisé ; Binding 1987, n° 145).

Quant à l'orfèvrerie, le reliquaire de Mozac (Binding 1987, n° 328) et le retable de saint Remacle de Stavelot (Binding/Nussbaum 1972, p. 23 ; Binding 1972, p. 94, fig. 11 ; 1985, t. I, p. 184 ; 1987, n° 99, d'après un dessin du XVIIe s.) offrent deux exemples d'images de chantier analogues du XIIe s.

47. Cette construction (**fig. 56**), interprétée comme échafaudage par le fouilleur, a aussi été identifiée comme suspension d'une sonnette * pour enfoncer les pieux de fondation de l'édifice (M. Untermann dans G. Binding 1993, p. 525, note 1850), possibilité déjà envisagée par Mojon, que confirmerait en effet un des parallèles iconographiques cités par lui (Mojon 1987, p. 81, fig. 6 a, détail de la *carta della catena*, Florence).

48. En Ile-de-France et dans les régions voisines, cette forme de rampe caractérise l'image de chantier stéréotype des vitraux (note 46) et manuscrits de la première moitié du XIIIe s. (voir l'exemple de deux *Bibles moralisées* : Vienne, Österreichische Nationalbibliothek, Cod. 1179, f° 7 v° (cf. Binding 1987, n° 614) et cod. 2554, f° 3 v° (cf. Gimpel 1980, p. 100 ; Binding 1987, n° 622).

Chapitre 5. L'échafaudage médiéval et le bâti

- 1 L'échafaudage médiéval des rapports vont bien au-delà du encastré entretient avec le bâti, qui de multiples simple ancrage supports dans les parements. Pour des impératifs techniques, le choix de l'appareil peut exclure d'emblée le recours aux trous de boulin. Mais les partis-pris esthétiques ne sont pas sans incidences sur sa composition : ainsi, dans des parements de moyen appareil, des trous de boulin sont laissés apparents et l'étude iconographique suggère même que ces trous de boulin puissent avoir une certaine fonction décorative.
- 2 Deux aspects se dégagent : celui de la circulation, avec les problèmes de sécurité qu'elle pose, et celui du travail à niveau, qui doit être envisagé, aussi, sous la forme des échafaudages particuliers. Puis sera évoqué le rapport de l'articulation de l'échafaudage, avec la forme architecturale générale, en d'autres termes les volumes. Les études présentées ici ne permettent que d'esquisser quelques grandes lignes ; un travail sur un ensemble géographique plus large serait seul à même d'apporter des réponses plus générales.

Les fonctions horizontales

- 3 La nécessité de se déplacer est primordiale sur un chantier : aujourd'hui encore, la multiplicité des niveaux de circulation permet d'accéder rapidement et sans encombre à n'importe quel point du bâtiment. Les personnes amenées à circuler au plus près des élévations sont nombreuses : l'architecte, le maître d'œuvre, le commanditaire, l'appareilleur, le contremaître, jusqu'aux porteurs de mortier...
- 4 L'iconographie atteste fréquemment la continuité d'un niveau de circulation sommital sur l'ensemble du monument. A la fin du Moyen Âge, on rencontre la représentation de véritables plates-formes qui entourent le bâtiment en construction, à l'intérieur et/ou à l'extérieur (**fig. 76a**). Cette fonction s'analyse dans les rapports des platelages avec l'architecture dont les éléments constitutifs peuvent faire obstacle à la continuité de l'échafaudage. Ceux-ci peuvent être soit des éléments bornants (colonnes engagées,

contreforts, lésènes, arcs-boutants), soit des zones de rupture (ouvertures, zones de décor dense, angle mural...).

- 5 Ce classement appelle des nuances. Techniquement, le franchissement des éléments en saillie ne peut être configuré avec les mêmes moyens que celui des éléments de rupture. Mais, parallèlement, éléments saillants et angles muraux se comportent de la même manière et sont de ce fait tous bornants ; par comparaison, les ouvertures constituent un obstacle mineur.

Les éléments bornants

- 6 Les éléments d'architecture comme les contreforts (**fig. 40**), les supports engagés, et dans une moindre mesure les lésènes, forment un ressaut sur la surface murale. Ils déterminent des unités de développement puisque les platelages ne peuvent opérer un retrait devant eux. Ils deviennent donc bornants. Dans la mesure où ils obligent à organiser les échafaudages en sections autonomes, ils font obstacle à la continuité de la circulation et au déploiement de l'échafaudement. Cependant, un alignement horizontal rigoureux des trous de boulin, d'un bout à l'autre d'un même bâti, peut être interprété comme la marque d'un échafaudage à platelages continus. Par ailleurs le surcroît de travail occasionné par une mise à niveau systématique des trous dans un chantier de grande ampleur ne pourrait se justifier que par la volonté d'organiser une circulation continue, par dessus l'obstacle des contreforts. C'est le cas dans l'abbatiale de Cluny : l'alignement horizontal des trous est homogène dans le mur gouttereau du collatéral sud. Mais, à l'inverse, le mur gouttereau sud de la cathédrale de Die montre des alignements inférieurs homogènes, de la tour-porche jusqu'au sanctuaire, puis des alignements autonomes par unité de développement à partir du niveau des ouvertures.
- 7 Le contrefort constitue un cas particulier. Dans l'architecture romane, il est défini par ses rôles de raidisseur mural et de stabilisateur du voûtement. Parfois, le contrefort comprend des trous de boulin, traversants ou borgnes, aménagés sur les côtés et exceptionnellement sur son parement principal. A l'époque gothique, les contreforts et les culées d'arc-boutant portent couramment des trous de boulin dans leurs faces latérales. La raréfaction des surfaces murales, qui définit en soi ce nouveau style, en est logiquement la cause. Ce phénomène indique une évolution radicale dans l'organisation des échafaudages : les boulins correspondants sont inévitablement parallèles aux surfaces murales, et non plus perpendiculaires comme c'était la règle à l'époque romane.
- 8 Certains systèmes d'échafaudement étendent donc les trous de boulin aux éléments bornants. En dehors des trous au fourreau de tracé oblique disposés près de l'angle, comme par exemple au chevet de l'église romane enserrée dans la *poype* de Villars-les-Dombes (Ain), ou sur la tour des Montmayeur à Aime, ces trous peuvent aussi gagner les contreforts lorsque ceux-ci atteignent des dimensions importantes. L'architecture romane du Vivarais offre deux exemples intéressants de ce procédé rare à l'époque : les contreforts du mur gouttereau sud de l'église de San Samonta à Saint-Montan (Ardèche), poursuivent les assises du petit appareil du mur jusqu'aux chaînages de pierre de taille qui renforcent leurs angles. Les rangées horizontales de trous en réserve sont prolongées par des trous échancrés, disposés en deux colonnes aux deux extrémités des flancs du contrefort. Dans la plupart des cas, les trous des contreforts sont décalés d'une assise, pour permettre le chevauchement des boulins, très

rapprochés aux angles. Ce même système est réduit à une seule colonne de trous traversants aux contreforts de la chapelle Saint-Ostian à Viviers (Ardèche).

Les zones de rupture

Ouvertures

- 9 Les chapelles latérales du chœur de la cathédrale de Lyon illustrent bien cette question. Dans leurs murs gouttereaux, les unités de développement d'une longueur d'environ 5 m (de contrefort à contrefort) portent des lignes ternaires de trous de boulin. La moitié supérieure de chaque travée est occupée par une large baie ; elle ne laisse disponible de chaque côté qu'une bande murale étroite où est logée une colonne de trous. Pour cette raison, l'entraxe atteint des dimensions considérables que l'on imagine mal comme étant franchies par une planche ou un clayonnage sur moise : il est vraisemblable qu'une paire de perches - perche externe, perche contre le mur - aboutées aux précédentes ait suppléé l'absence de boulins intermédiaires. La chapelle Sainte-Eugénie, à Montbrison (**fig. 77**), atteste *a contrario* la nécessité, mais aussi les difficultés d'appliquer cette solution. Sur le mur gouttereau nord, de part et d'autre de la lancette sont distribués quatre trous de boulin ; deux sont placés à environ 0,50 m des contreforts, les deux autres de part et d'autre des fenêtres : visiblement, grâce à cette disposition, on a cherché à éviter de monter un nouvel élément d'échafaudage au travers d'une ouverture et, par voie de conséquence, de recomposer le précédent en y ajoutant un jeu de perches.

77- Montbrison (42) : chapelle Sainte-Eugénie, mur gouttereau nord



Position des trous de boulins par rapport à une ouverture

- 10 On peut se demander si les ouvertures n'ont pas été utilisées pour ancrer des échafaudages afin de limiter les opérations de taille de pierre et d'épargner les surfaces murales. Le phénomène semble se développer à l'époque gothique : c'est la thèse que soutient John Fitchen à propos des baies de clair-étage dans son ouvrage sur la construction des cathédrales gothiques (Fitchen 1961). Lors de notre étude, des faits nous ont paru significatifs. Dans le transept de Cluny, on note une absence totale des trous de boulin au niveau des arcs des absides et du collatéral ; l'échafaudage indépendant est alors probablement lié au cintre des arcs. Les étages des fenêtres, surtout lorsqu'elles sont rapprochées, ne possèdent pas non plus de trous. Dans ce cas, c'est l'appui des baies qui a été utilisé pour la mise en place de l'échafaudage. A la cathédrale de Lyon, le clair-étage oriental du transept est composé, dans le croisillon nord comme dans celui du sud, d'un triplet de trois lancettes inégales montées avec le mur ; au sud, les trois ouvertures (premier tiers du XIIIe s.) sont encadrées par un réseau dense de trous formant quatre platelages. Au nord (le triplet est un peu plus tardif), le parement de tout l'étage est ne possède aucun trou : on est ainsi passé, en quelques années, d'un échafaudement ancré dans le mur à un système bloqué dans les ouvertures.

Changement d'appareil

- 11 Il peut arriver que le changement d'appareil occasionne une modification dans l'organisation de l'échafaudage. Ce cas de figure n'est pas fréquent, on l'a rencontré dans le clocher-porche de la priurale de Saint-Rambert-sur-Loire (dos de couverture). Ce dernier est composé de deux types d'appareil bien différenciés. Les dix premiers mètres sont constitués exclusivement de matériaux de remploi gallo-romains de grandes dimensions ; les dix mètres suivants, d'un appareil mixte alliant petits blocs de tout-venant et blocs de remploi aux chaînages d'angle. Les traces de l'échafaudage encastré apparaissent seulement dans les parties hautes à partir d'un léger rétrécissement de la tour. La partie basse est exempte de trous de boulin. La hauteur est telle que l'utilisation d'un échafaudage à deux rangs de perches est inévitable.

Le franchissement des obstacles

- 12 Pour les angles muraux, c'est l'architecture militaire, notamment les tours carrées comme celle des Montmayeur à Aime en Tarentaise (**fig. 66**), qui révèle une solution technique fondée sur le désaxement progressif des boulines. Le resserrement des boulines extrêmes a pour but de réduire l'espace à franchir au sommet de l'angle et permet l'installation d'un platelage continu ; la jonction entre les deux côtés est alors assurée par des planches posées perpendiculairement à la bissectrice de l'angle formée par les deux murs : elles portent sur les boulines biais extrêmes, couvrent le triangle vide et bloquent les extrémités des platelages latéraux. Une formule identique est employée aux angles de la tour-porche du prieuré de Saint-Rambert-sur-Loire (dos de couverture)

Trous de boulin et campagnes de construction

La répartition des trous de boulin reflétant la disposition des échafaudages encastrés, garde aussi la trace des changements que ceux-ci subissent au cours de la mise en œuvre du bâti. S'il est arbitraire de déduire des campagnes de

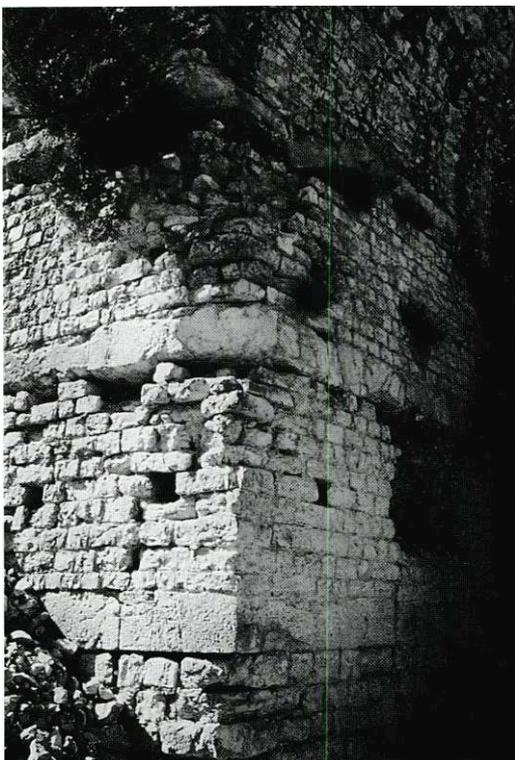
construction à partir des seuls trous de boulin, un changement d'appareil, la reprise d'une attente ou d'un coup de sabre se traduit néanmoins souvent par l'emploi d'un système d'échafaudage différent, notamment lors de la mise en oeuvre du voûtement. L'analyse conjointe de ces phénomènes permet alors de préciser l'avancement d'un chantier et la chronologie relative de la construction : Dans les quatre travées occidentales de la nef de Saint-Trophime d'Arles, la répartition et la forme des trous de boulin diffère en fonction des deux étapes majeures d'une construction rigoureusement organisée. La partie inférieure de la façade occidentale, montée en appareil mixte jusqu'à la naissance du voûtement des collatéraux, se distingue par un système d'échafaudage qui diffère de celui de la partie supérieure (**fig. 26**). Celle-ci débute à la hauteur de l'appui de la fenêtre axiale inférieure, c'est-à-dire à la hauteur des premiers trous de boulin visibles à l'extérieur des murs latéraux de la nef principale. Dans la partie inférieure, les niveaux encore identifiables se succèdent à intervalles sensiblement inégaux (environ 0,65 à 1,55 m). Dans la partie supérieure, l'espacement des trous de boulin et la superposition des registres à intervalles relativement réduits (environ 0,95 à 1,10 m) sont plus réguliers.

A l'intérieur de la nef, la phase de la mise en oeuvre du sommet des murs gouttereaux et des murs-diaphragme entre les travées se traduit par un changement de système de chaînage angulaire, accompagné de l'apparition de signes lapidaires distinctifs et d'un niveau à peu près homogène de trous de boulin à environ 0,70 m au-dessous des impostes des arcs-diaphragme, à une hauteur qui correspond approximativement à la naissance des grandes arcades. Ainsi se confirme un lien entre des niveaux d'échafaudage « stratégiques » et les étapes majeures de la mise en oeuvre de l'édifice. Dans la nef principale, toute la structure supérieure, montée avec le système de trous de boulin décrit, est réalisée avec le moyen appareil réduit qui diffère de celui de l'ossature et des piliers de la partie basse de taille plus grande, par l'apparition de marques de tâcheron dissemblables. Dans les collatéraux, ce même appareil remplace l'appareil mixte du sommet des murs (déjà différent de celui du niveau inférieur par la composition de son petit appareil et le système de chaînage) à partir de la naissance du voûtement.

Andreas Hartmann-Virnich

- 13 Cette formule est encore utilisée couramment dans nos échafaudages contemporains. Mais on peut imaginer une autre solution : les deux platelages peuvent se rejoindre à l'angle du bâtiment et une perche placée à l'intersection des longerons extérieurs (OPPBT 1993) supprime les porte-à-faux. L'échafaudage qui a été récemment monté pour la restauration de la tour des Montmayeur (1994) a repris la même technique.
- 14 Ce procédé, celui du désaxement des boulines extrêmes, est ancien : ainsi la pile du pont romain de Villeperdrix, dans la Drôme (**fig. 78**) possède des trous biais d'angle. Il est sans doute très répandu : pour l'époque romane, nous avons eu l'occasion de retrouver cette formule en Corse dans des édifices religieux d'importance (La Canonica, San Partéo,...) ou de moindre ampleur (San Quilico de Montilati, à Figari).

78- Villeperdrix (26) : pile du pont romain



- 15 A Saint-Jean-de-Maurienne, le système est plus complexe, car il possède une double utilité. Les trous de boulin présentent une orientation bien marquée en fonction de leur localisation : ceux répartis sur la première travée occidentale de la cathédrale sont orientés vers l'est, et les suivants orientés vers l'ouest. Cette disposition en biais permet aux maçons d'obtenir une plus grande portée pour soutenir les platelages faiblement calés par les lésènes (0,10 m). En revanche, les trous de la partie occidentale s'accordent avec la mise en oeuvre délicate du mur pignon. Ce dispositif suggère l'utilisation d'un échafaudage unique, se retournant sur la façade, et facilitant ainsi la circulation des ouvriers pour la mise en oeuvre de cet ouvrage. Ce dispositif n'est pas employé pour l'installation du pignon oriental.
- 16 Pour compléter l'évocation de cette formule, il convient de citer l'exemple du clocher du prieuré de Montverdun, car l'analyse quantitative des données archéologiques apporte des précisions sur le détail des agencements dans le cas du recouvrement des extrémités des platelages. A la surélévation du clocher effectuée aux XVe - XVIe s., les trous de boulin extrêmes des rangées intégrées dans chacune des faces, sont orientés à 45° afin de réduire les porte-à-faux des platelages, probablement continus aux angles. Les trous de deux faces jointives présentent un dénivellement d'environ 0,10 m, permettant aux boulins de se croiser à l'intérieur de la tour.
- 17 Le chevet de la cathédrale de Lyon illustre une solution originale pour le franchissement à la fois des contreforts et d'un angle. Dans les chapelles latérales du choeur, la paire de contreforts qui marque l'angle entre le mur plat du chevet et le mur gouttereau a été utilisée pour faciliter la continuité des platelages jusqu'au ras du mur du chevet. Dans la chapelle méridionale, Notre-Dame-du-Haut-Don, la face sud du contrefort perpendiculaire au mur du chevet, présente une suite verticale de trous non-traversants qui correspondent à une ligne de platelage du mur gouttereau.

L'échafaudage de ce mur était donc continu d'est en ouest et englobait les contreforts, grâce, sans doute, à des boulins de grande portée, et ce jusqu'au dernier contrefort, traité alors comme élément porteur. Le mur plat de chevet était, lui, échafaudé de manière autonome. De fait le module des blocs employés est sensiblement différent ; mais la faiblesse du dénivelé entre l'échafaudage du mur gouttereau et celui du chevet autorise un franchissement praticable. A Saint-Pierre, chapelle symétrique nord, la formule est améliorée (**fig. 39**).

La circulation mixte

- 18 Ces analyses appellent deux commentaires. Tout d'abord, la présence d'ouvertures larges, servant ou non de lieu d'ancrage, est inévitablement intervenue dans l'organisation de la circulation, puisqu'elles permettaient naturellement une communication rapide entre l'intérieur et l'extérieur ; mais aucune trace d'une telle utilisation ne nous est parvenue. Le faîte du mur en construction était aussi apte à supporter une partie de la circulation des hommes et des matériaux : c'est le cas notamment dans la moitié inférieure en grand appareil du clocher-porche de la priurale de Saint-Rambert-sur-Loire. Il est, en effet, impossible de barder des blocs de grand appareil sur les platelages dont les planches et les supports ne peuvent offrir une résistance et des marges de sécurité suffisantes. De même, des montages particuliers, comme la mise en place de colonnes ou colonnettes glissées à partir d'une position dominante, s'opèrent depuis le haut de la construction en exigeant le déploiement d'hommes, notamment depuis le faîte du mur.
- 19 L'archéologie apporte les traces de telles pratiques : lorsqu'on peut raisonner sur des murs détruits, on observe que des surfaces maçonnées, - c'est l'exemple des « planées » dans le mur de l'abside de la crypte de Saint-Jean-de-Maurienne, - sont autant de surfaces de circulation qui s'interfèrent en faisant office de platelage. Cette façon d'organiser le travail est très ancienne si l'on se réfère aux assises de réglage et de remise à niveau étudiées par Claude Lefebvre dans l'*oppidum* proto-historique de Jastres (commune de Lussas, Ardèche).

Planée et repentir

L'analyse des maçonneries du mur de l'abside romane de la cathédrale de Saint-Jean-de-Maurienne, dérasée lors de la reconstruction du chevet au XV^e s., a montré la présence de deux maçonneries distinctes. Un premier mur, formant l'enveloppe extérieure de l'abside (large de 1,10 m) et un mur intérieur qui constitue le parement de la crypte (largeur oscillant entre 0,50 et 0,70 m). Cet aménagement intérieur est conçu comme un placage : le parement est composé de galets de rivière, parfois disposés en arêtes de poisson, et est maintenu par un bourrage de matériaux disposés pêle-mêle. Les deux fenêtres nord et sud viennent percer le mur extérieur.

Nous avons constaté la présence d'un replat de mortier horizontal parfaitement lisse (situé entre 5-6 m S/16-17 m E pour le côté sud et 1-2 m N/16-17 m E pour le côté nord). Cette zone de mortier peut être interprétée comme une planée : c'est-à-dire la trace d'un arrêt délibéré d'une partie de la construction, afin d'aménager l'intérieur de l'abside. On ne rencontre pas de traces de pas qui indiqueraient que les ouvriers ont travaillé sur le mur alors que le mortier était encore frais.

Ce mode de construction laisse supposer que les constructeurs ont excavé toute l'abside d'environ 1,50 m, afin d'aménager l'espace central en crypte. L'hypothèse du surcreusement correspond d'ailleurs assez bien au départ des fondations extérieures, très haut par rapport au sol supposé de la crypte.

Isabelle Parron

- 20 L'utilisation de l'échafaudage à double rang de perches, indépendant du mur, et/ou de l'arase du mur comme lieu de circulation, ne pourrait-elle pas expliquer l'absence de trous de boulin dans un type particulier d'édifices de la fin du XIIe-début XIIIe s. ? Il s'agit d'églises et de bâtiments souvent liés à l'expansion de nouveaux ordres monastiques (cisterciens, chartreux, ordre du Temple...). Cette architecture est caractérisée par la simplicité de la mise en oeuvre et le souci d'économie, qui ont pour corollaire un sens pratique et une efficacité qui ont fait la rapide réputation des cisterciens. Cette évolution fait disparaître l'échafaudage encastré pour l'échafaudage à double rangée de perches, et l'apparition des assises de réglage (commanderie de Jalès à Berrias-Casteljau ; mur gouttereau nord de l'église abbatiale de Cruas...). Cette disparition semblerait contemporaine d'une certaine généralisation du moyen appareil, et donc de l'emploi de la pierre de taille. Cette évolution serait-elle liée à un changement dans la répartition des tâches et peut-être dans la composition des mortiers ? Mais ceci ne peut, dans l'état actuel de la recherche, que rester à l'état d'hypothèse.
- 21 Pour ce qui est des élévations médiévales intactes, l'épaisseur des murs, la qualité du matériau, la mise en oeuvre et la technique de construction sont des éléments d'analyse sinon décisifs, du moins pertinents. Ces critères dépendent bien sûr de l'ampleur et de l'importance culturelle du monument, de l'aire géographique et de l'époque auxquelles il appartient.

L'exemple de la chapelle Sainte-Anastase

Structure portante et circulation

La chapelle Sainte-Anastase dans la commune de Sainte-Jalle (Drôme), petit édifice rural, est un bon exemple des solutions les plus usitées.

La circulation extérieure se fait à partir des platelages. En façade (**fig. 79**), la première rangée est à 1,50 m du sol actuel. Trois niveaux de trous s'alignent. Seules les deux rangées supérieures, distantes de 1,20 m l'une de l'autre, se superposent parfaitement. Il est à noter la grande symétrie dans la répartition de l'ensemble. Le portail occidental est bien sûr centré, quatre trous se répartissent de chaque côté de la clef de l'arc. A la rangée supérieure, cinq trous s'alignent verticalement et horizontalement, le cinquième étant à l'aplomb de la clef. Au sud de la porte, au même niveau que les corbeaux séparant les piédroits de l'arc brisé, sont conservés deux trous de section inférieure (0,15/0,17 m). Si l'écart entre eux n'est que de 0,67 m, c'est qu'il a très certainement fallu renforcer l'échafaudage pour supporter le cintre et le poids des claveaux du portail à présenter en attente de la pose.

Dans le mur gouttereau sud (**fig. 79**), conservé dans son état d'origine sur une hauteur de 4,70 m, trois rangées de trous disposés en quinconce sont encore en place. La première se situe à 1,87 m du sol actuel ; la distance entre les trous est variable : le premier est à 0,81 m de l'angle sud-ouest de l'édifice, le second à 0,85

du premier, le troisième à 1,04 du précédent. Plus on se dirige vers l'est et plus les portées de platelage sont grandes. Ils sont tous de même section (0,21/0,21 m) et contemporains. La seconde rangée de boudins est à 2,67 m du sol actuel, donc 0,80 m au-dessus de la rangée précédente. C'est la hauteur maximale pour travailler sans effort, mais cela implique le démontage du platelage inférieur de l'échafaudage lors de l'installation du niveau suivant.

Entre ces deux rangées, il existe un niveau intermédiaire où les boudins sont distants l'un de l'autre de 0,80 m et se situent à 0,80 m au-dessus de la première rangée : on a ici une implantation plus serrée de trous, qui sont traversants et pourraient fonctionner pour le parement interne de l'édifice et servir au montage des arcs des arcatures aveugles latérales.

Circulation autour de l'édifice : le platelage périphérique sommital

Les trous de la dernière rangée du parement méridional sont en concordance avec ceux de la façade qui passent au dessus de l'arc de l'ouverture occidentale, après une assise de réglage. Il semblerait qu'à ce niveau le platelage fonctionne pour le parement externe et le parement interne.

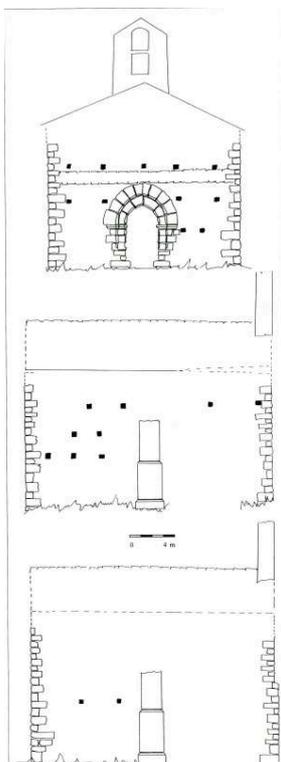
La construction s'effectue donc à partir de deux systèmes différents : les parties basses sont montées depuis le sol, avec un échafaudage encastré propre à chaque parement, le platelage n'étant ici qu'une simple surface de travail surélevée. En façade, où des parties sont plus travaillées (portail en pierre de taille), la répartition est dense et régulière. A partir de 2,67 m, au-dessus de l'ouverture occidentale, on ressent le besoin de coordonner l'ensemble et d'installer des surfaces de circulation communes à toutes les faces de la nef.

C'est peut-être le signe d'une spécialisation dans les équipes, celle affectée au montage de la façade occidentale, d'un travail plus soigné puisqu'il y a de l'assemblage de pierre de taille et de l'ajustage de claveaux à effectuer, n'étant pas la même que celle qui réalise un simple alignement de moellons pré-taillés. Comme on est ici dans les parties basses, que ceux-ci sont de petite taille, on peut se les passer à la main, et il y a peu à entreposer sur l'échafaudage. Ceci peut également expliquer les différences de hauteur entre d'une part le sol et les premières rangées et d'autre part les rangées elles-mêmes. Quand on s'élève, il faut hisser les matériaux et de ce fait les entreposer.

Enfin le troisième niveau de boudins est le même sur les trois faces. Il correspond à celui de la naissance de la voûte. Le platelage des murs gouttereaux n'est ici qu'intérieur, car destiné à la pose du cintre et à la circulation des maçons. Par contre, en façade, il devait être interne et externe, car il fallut encore monter le mur pignon.

Joëlle Tardieu

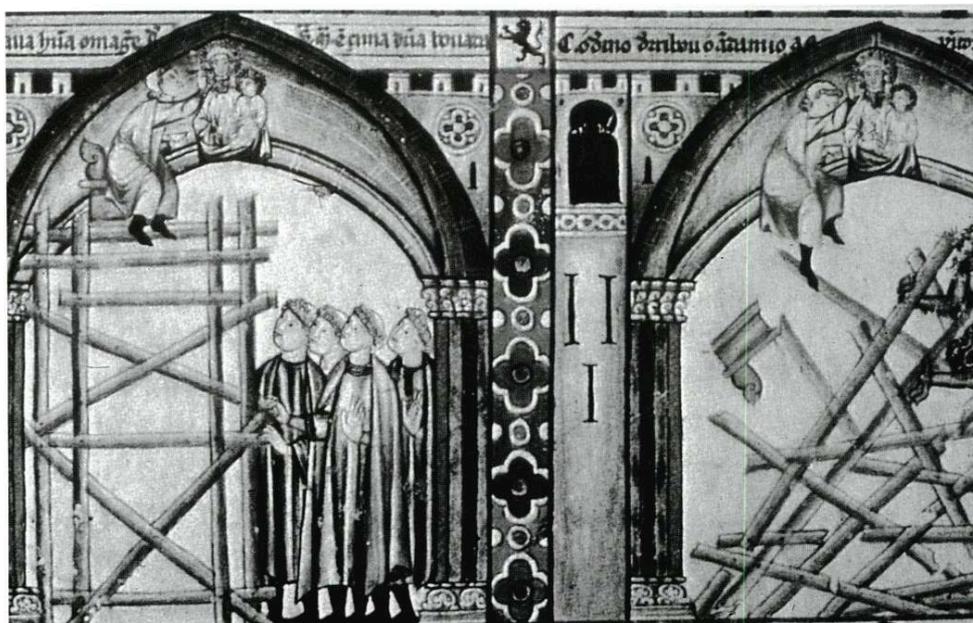
79- Sainte-Jalle (26), chapelle Sainte-Anastase : répartition des trous de boulin



La sécurité sur les échafaudages médiévaux

- 22 Quelle a été la fréquence des accidents sur les échafaudages médiévaux ?
- 23 Les textes relatent parfois des accidents spectaculaires, comme la rupture d'échafaudage dans le chantier de Paray le Monial, qui coûta la vie à un jeune moine, et un miracle à saint Hugues. Le plus souvent, cet épisode, qui tient du *pathos*, est à prendre au second degré : il confirme la dimension surnaturelle de l'entreprise par l'issue miraculeuse de l'accident. L'iconographie, qui illustre parfois ces événements, montre que des échafaudages d'une solide apparence se révèlent dangereusement défectueux (**fig. 80 et 73**).
- 24 Un autre aspect du problème concerne la circulation sur un échafaudage et les aménagements destinés à parer aux chutes. L'iconographie ne fait que rarement apparaître des aménagements particuliers, comme les garde-fous, ou les barrières de protection. Les enseignements de l'architecture sont contradictoires. Il existe de nombreux systèmes de circulation logés dans les parties hautes des églises dont l'extrême étroitesse illustre bien le niveau de risque accepté au Moyen Âge.
- 25 R. Bechmann (Bechmann 1994) signale dans l'architecture anglaise des zones de circulation externe sur *crétiaux* protégées par des garde-corps en forme de crénelage. Le même souci de sécurité se remarque dans les triforium ou les galeries supérieures comportant un mur bahut. S'il est impossible à l'archéologie d'étudier ces formes de protection, par nature périssables, l'analyse quantifiée des traces laissées par les éléments porteurs suggère par contre quelques réflexions.

80- Le peintre reste accroché à son pinceau !. Alphonse le Sage, *Cantigas de Santa Maria*



Madrid, Escorial, Biblioteca real, Ms. T I, 1

Les fonctions verticales

- 26 Dans ce domaine, l'étude des traces archéologiques paraît d'un faible secours, par rapport à la richesse des textes ou de l'iconographie. La structure générale admet des modifications ponctuelles, des solutions locales, adaptées à un ouvrage spécifique. Cette étude doit donc porter sur trois points : les hauteurs courantes de platelages ; le niveau d'apparition du premier platelage et enfin, les structures hétérogènes. Pour finir, on observera comment peuvent s'articuler certaines organisations de trous de boulin et des tâches spécifiques.

Les hauteurs de platelages

- 27 Dans l'échafaudement médiéval, les platelages se succèdent les uns aux autres dans l'espace et dans le temps : on admet qu'une fois que le niveau de circulation est planchéié, le précédent devenant inutile sauf cas particulier, est démonté pour récupérer les matériaux. Les faibles hauteurs (0,80 m à 1,20 m) souvent relevées entre deux platelages successifs prouvent bien qu'il est inutile de conserver les platelages inférieurs puisque leur utilisation contraindrait les ouvriers à se déplacer courbés.
- 28 Cette question de la hauteur de platelage est déterminante : en-dessous de 1,20 m, le maçon a toute latitude pour effectuer son travail depuis les plateaux, sans être gêné dans sa tâche par l'amplitude des mouvements et les difficultés à dominer l'ouvrage ; à une dimension supérieure, il lui devient impossible d'accéder à l'arase du mur depuis le plancher, ni a fortiori à la face interne du parement et à la fourrure du mur.

Variation des écarts entre les niveaux de platelage

- 29 Ces écarts sont aussi variables que l'espacement des boulines qui les soutiennent. Ces variations apparaissent non seulement d'un édifice à l'autre, mais aussi dans un même édifice, voire dans une même campagne de construction. Dans les cas étudiés, les intervalles entre les niveaux atteignent de 0,65 à 1,80 m et 2 m, mais sont en général rarement inférieurs à 1 m et supérieurs à 1,60 m. Il se trouve que ces dimensions sont toujours celles retenues parmi les consignes actuelles de sécurité (Layher sd). la hauteur de 2 m étant habituelle. Dans les édifices romans qui ont fait l'objet d'études, les hauteurs de platelage observées accusent un choix caractéristique de valeurs moyennes, comprises entre 1 m et 1,50 m : la façade occidentale de la chapelle Sainte-Eugénie présente des hauteurs successives depuis le sol de : 1,50 m, 1,30 m, 1,32 m, 1,20 m, 1,04 m, 1,28 m, 1,38 m, 1,18 m, soit au total 10,20 m ; à Sainte-Jalle : 0,80, 1,20 m, 1,60, puis 2 m ; à Saint-Jean-de-Maurienne : 1,30, 1,10, puis 1,00 m ; dans ce dernier cas, il faut remarquer que cet ensemble de hauteurs varie de façon régulièrement régressive et qu'elle s'accompagne d'un fort pendage vers l'est.
- 30 On rencontre parfois dans un même édifice des hauteurs de platelages standardisées, comme dans le petit appareil mixte de galets de l'église de Saint-Paul-de-Varax où le rythme est régulièrement de 1,18 m, sauf au niveau de la voûte où la hauteur est un peu plus forte (1,28 m). La seule constante qui ait été relevée est le respect d'une hauteur moyenne correspondant à une même phase d'échafaudement ou à une même tranche du chantier ; mais des changements durant la construction occasionnent couramment des variations importantes de hauteur dans un même édifice.
- 31 Mais on ne peut raisonner que sur des mesures. Ainsi, à la cathédrale de Moutiers, les hauteurs évoluent selon les parties de l'édifice : dans la nef, l'écart entre le premier platelage, situé à environ 5 et 6 m du sol actuel, et le second est de 1,25/1,30 m, mais pour les suivants, la hauteur varie entre 0,90 et 1,10 m ; dans la travée de chœur ils sont placés tous les 0,95 m ; enfin dans l'abside, la variation est de 1,00 à 1,10 m.

Influence du choix de l'appareil

- 32 A Cluny, les dimensions fluctuent entre 1,10 et 1,40 m pour le petit appareil, et peuvent aller jusqu'à 1,80 m dans les parties parementées en grand appareil. Dans la façade de Saint-Trophime d'Arles la variation dans la distribution horizontale est incontestablement à mettre en relation avec un changement d'appareil : dans la partie inférieure, montée en appareil mixte, les niveaux encore identifiables se succèdent à intervalles sensiblement inégaux compris environ entre 0,65 m à 1,55 m ; dans la partie supérieure, en moyen appareil, l'espacement des trous de bouline et la superposition des registres à intervalles relativement réduits (environ 0,95 à 1,10 m) sont plus réguliers. Dans le cas du petit appareil, l'échafaudage a toute latitude pour définir un rythme chiffré dans l'organisation des platelages. Dans les maçonneries en moyen et en grand appareil, les contraintes se font plus lourdes. On remarque alors que si les hauteurs de platelage varient sensiblement, on doit en revanche rechercher une constante dans le nombre d'assises desservies par platelage : à Saint-Paul-Trois-Châteaux (moyen appareil), les fluctuations imposées par la hauteur inégale des assises ont donné lieu à de faibles écarts variables d'environ 1,40 à 1,65 m. Dans la façade de Saint-Trophime d'Arles (moyen appareil), les entrées apparaissent toutes les 5 assises (**fig. 26**) ; A Die (**fig. 37**), dans le mur gouttereau sud de la cathédrale (moyen appareil), assez

régulièrement toutes les 5 assises ; à l'abbatiale de Cruas (**fig. 29**), dans les murs gouttereaux de la nef (moyen appareil), toutes les 8 assises. Au chevet de la cathédrale de Lyon, dans le grand appareil des chapelles latérales romanes du choeur, les trous de boulin sont régulièrement percés toutes les 2 assises (**fig. 39 A et B**).

Une évolution chronologique ?

- 33 Dans le chevet de la cathédrale de Lyon, l'évolution des hauteurs paraît plus anarchique. Les hauteurs de platelage sont moyennes dans la zone de l'arcature aveugle romane de l'abside (niveau du triforium ; fin du XIIe s. ; moyen appareil ; 0,96/1,20 m), dans les contreforts de la galerie supérieure gothique de l'abside (premier tiers du XIIIe s. ; 1,11/1,34 m). Elles sont un peu plus fortes dans la moitié inférieure, romane, de l'abside et des chapelles latérales du choeur (jusqu'au niveau du triforium exclusivement ; 1,20/1,60 m) et dans le niveau du clair étage oriental du croisillon sud (premier tiers XIIIe s. ; moyen appareil ; 1,20/1,50 m). Elles deviennent très importantes - 1,73/1,90 m - dans les premiers platelages du transept gothique, qui sont situés à la même hauteur que les baies des chapelles latérales romanes (début du XIIe s., moyen appareil). Les critères d'appareils et de chronologie semblent donc ne jouer aucun rôle dans l'élaboration de ces systèmes. Pourtant, l'organisation des trous de boulin révèle de grands ensembles homogènes d'échafaudages, nettement différenciés les uns des autres.

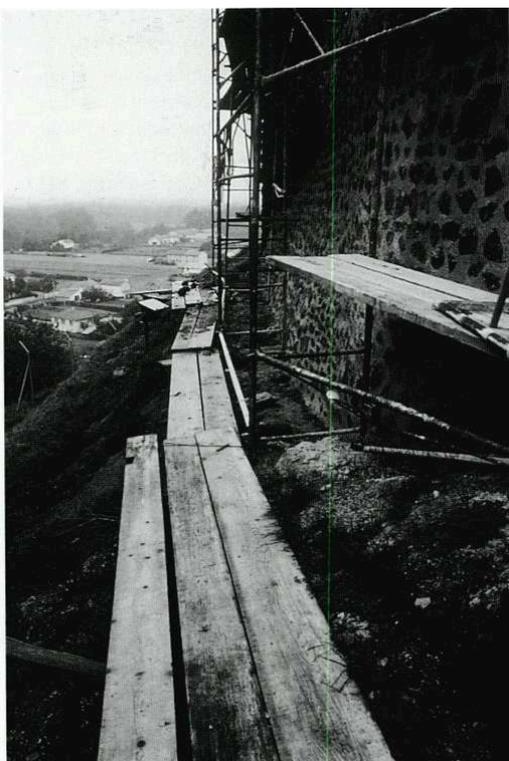
Premier platelage

- 34 Le plus surprenant, dans la mise en place des platelages, est la hauteur à laquelle apparaît le premier niveau. On rencontre trois cas de figure.

Les faibles hauteurs

- 35 Au mur sud de la nef de Saint-Honorat-des-Aliscamps d'Arles (**fig. 25**), les trous de boulin apparaissent au ras du sol actuel, inférieur au seuil du portail de la facade de la fin du XIIe s., rajoutée, il est vrai, à la nef du XIe s. A Montverdun, L'Hopital-sous-Rochefort, dans les contreforts romans de la tour porche de la cathédrale de Die, le premier niveau est très bas : 0,60-0,80 m. Pour les deux premiers sites, il est vraisemblable que la forte déclivité du rocher justifie cette position basse : sur un substrat non égalisé, on a besoin très rapidement d'un sol de circulation horizontal pour aligner le niveau de travail (**fig. 81**). Ces faibles hauteurs appellent deux remarques. Tout d'abord, elles n'innovent pas ; l'Antiquité a connu une telle configuration comme par exemple dans les parties en élévation des aqueducs d'Arles, où les premières rangées de trous de boulin commencent au ras du sol. Par ailleurs, elles ne concernent pas exclusivement le point de départ au sol. Il arrive que l'échafaudement d'un sous-ensemble, situé assez haut dans la construction, reprenne ce type d'organisation (galerie haute du transept de la cathédrale de Lyon où le premier platelage s'élève à moins de 0,50 m du sol de la galerie).

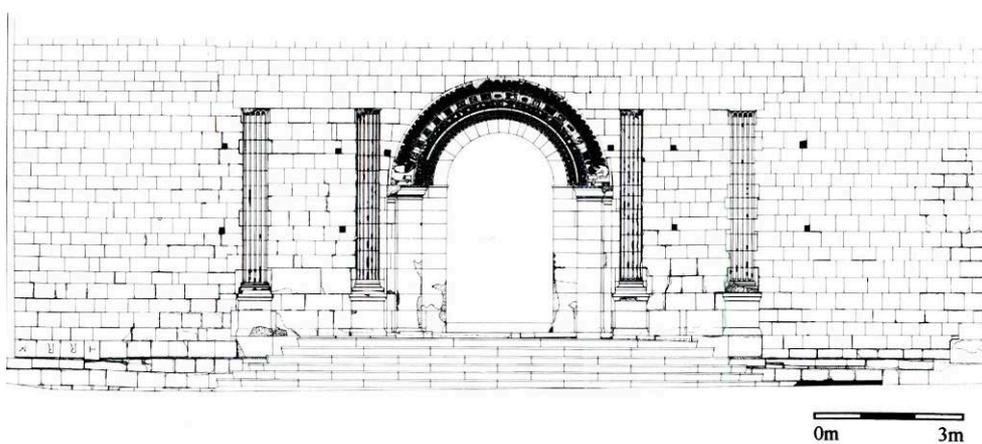
81- Prieuré du Pic de Montverdun (Boën-42) : platelage installé pour faciliter la circulation lors de la restauration du rempart



Les hauteurs moyennes

- 36 Elles oscillent autour de 1,50/2,00/2,50 m. Elles correspondent à la hauteur maximale atteinte entre deux plans de travail successifs et le système se caractérise par une bonne homogénéité. On les rencontre à Cluny, à la façade occidentale de la cathédrale de Saint-Paul-Trois-Châteaux (**fig. 82**), et à la chapelle Sainte-Eugénie de Montbrison.
- 37 Cependant ces hauteurs, au delà de 2 m, ne permettent pas à un maçon d'atteindre le faite du mur, l'emploi de tréteaux, ou de « hausse-pieds » est alors indispensable. L'iconographie en restitue des exemples (**fig. 6**). Ceci est confirmé sur le plan ethnographique, par des témoignages oraux : « on se servait aussi de tréteaux pour commencer à bâtir, mais on les enlevait pour mettre l'échafaudage »⁴⁹.

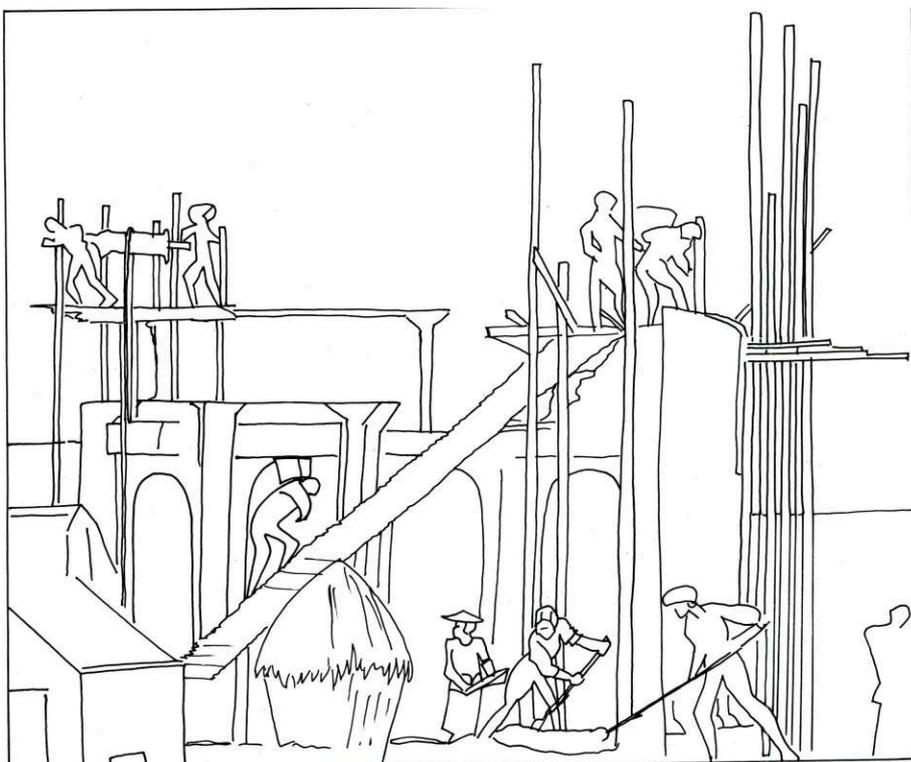
82- Saint-Paul-Trois-Châteaux(26) : Portail de la façade occidentale



Les hauteurs importantes

- 38 Il s'agit des hauteurs supérieures à 2,50 m/3 m. Elles peuvent même s'élever jusqu'à 5 à 8 m (ex. : chevet de l'église Saint-Jean à Lyon). L'iconographie médiévale restitue couramment ces très grandes hauteurs, prouvant ainsi qu'elles n'ont rien d'exceptionnel. Le monde romain (**fig. 13**) comme ceux de la Renaissance (**fig. 83**), de l'âge classique (**fig. 5**) et contemporain (**fig. 14**), ont connu ce même phénomène.
- 39 Cette observation appelle deux remarques. D'une part, l'usage palliatif d'un « hausse-pied » n'est plus de mise ; pour couvrir une hauteur comprise entre 5 et 8 m, le maçon a besoin d'un montage plus développé qu'un simple tréteau. Doit-on envisager la mise en place d'un premier échafaudage, indépendant et répondant à ces hauteurs, avant le montage, de l'échafaudage définitif ? D'autre part, le développement à grande hauteur du premier platelage laisse supposer qu'on ne pouvait accéder à l'échafaudage que par échelle ou, éventuellement, plan incliné.

83- D'après « La dispute du Saint Sacrement » (détail), Raphaël

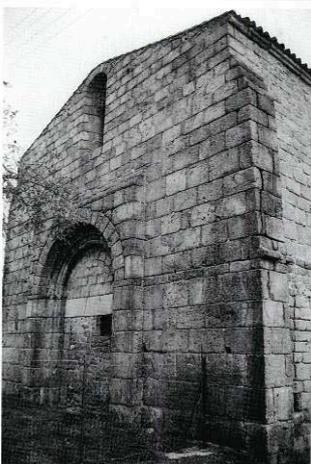
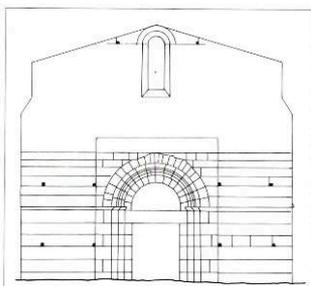


L'échafaudage et la spécialisation des tâches

Platelages spécialisés

- 40 Il arrive que des entrées de boulin ne s'intègrent pas dans un ensemble. Il s'agit alors des traces d'une structure montée pour une tâche spécifique, comme par exemple pour une sapine, ou le resserrement du maillage des trous autour des ouvertures, ce qui est un phénomène bien caractérisé : façade de l'abbatiale de Léoncel (Drôme), Commanderie de Montbrison (**fig. 84**), prieuré d'Aleyrac. L'exemple de la commanderie de Jalès (Ardèche) est révélateur. Cette commanderie a été fondée en 1144, mais elle est, dans son état actuel, très remaniée ; un édifice a été installé à l'époque moderne pour relier l'église, dont il enveloppe l'abside, à l'aile orientale des bâtiments conventuels. Le parement extérieur méridional est entièrement monté avec des moellons provenant des bâtiments romans détruits ; la porte, romane, a été également réemployée et remontée pendant ces travaux. Sur l'ensemble de la surface murale, on ne relève que deux seuls trous, ménagés exactement à la naissance de l'arc de la porte. Cette disposition est une preuve de la spécificité du montage des arcs dans le processus courant de construction : une structure légère, installée uniquement pour cette tâche, vient en renfort d'un autre échafaudage qui est soit encastré, soit indépendant (cas de Jalès ou de Saint-Jean-des-Prés de Montbrison). Dans le premier cas, la répartition des trous est alors plus dense : ainsi sur la façade occidentale de Saint-Trophime d'Arles (**fig. 26**), au niveau de l'ouverture rectangulaire, les portées de platelage diminuent quand on s'élève vers le chapiteau soutenu par une colonne et vers le linteau qui est ici en plate-bande.

84- Montbrison (42) : chapelle de la commanderie Saint-Jean des Près, façade ouest



Cluny : ensembles et ruptures (fig. 85)

L'alignement vertical et horizontal des trous de boulin montre des ruptures importantes définissant ainsi différents ensembles de structures portantes. En considérant les ouvertures qui constituent des contraintes importantes, les échafaudages des deux travées du transept représentent des ensembles cohérents qui correspondent à des campagnes de construction relativement homogènes. On observe quelques ruptures au niveau des murs pignons. Les baies et l'arc formeret, au-dessus du dernier bandeau du mur occidental et du mur oriental de la deuxième travée imposent d'organiser différemment l'échafaudage. Le bandeau sert visiblement d'appui aux derniers boulin de l'ensemble inférieur. Puis une nouvelle structure portante s'organise à 0,50 m du bandeau pour la construction du mur pignon percé de deux fenêtres. Le cas est un peu différent pour le mur pignon sud où l'échafaudage appartient aux ensembles évolutifs. D'une part, des trous de boulin sont aménagés sous le bandeau dans le prolongement des trous de boulin inférieurs ; le bandeau sert alors de puissant linteau au trou de boulin. D'autre part, les alignements verticaux du troisième niveau se poursuivent à l'est et à l'ouest dans le prolongement des trous de boulin du deuxième niveau. La structure conserve alors une certaine homogénéité. Les deux perches centrales sont simplement décalées de chaque côté de la baie centrale, dans l'axe des arcatures aveugles.

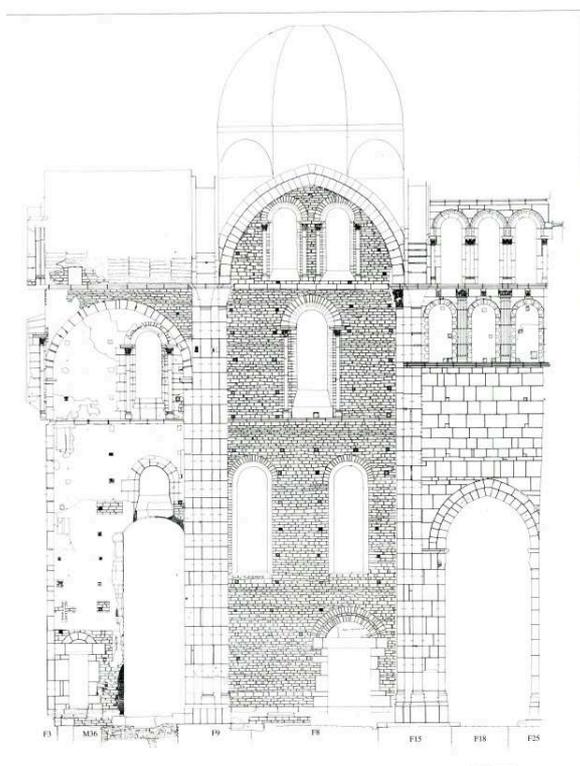
En revanche, la travée du collatéral révèle des ruptures plus importantes et de nature différente. La première se produit au niveau du second bandeau décoré de besants ; la mise en place d'un second ensemble rompt l'alignement vertical. Or cette rupture semble confirmer une phase de travaux différente. Si on observe, en

effet, à la même hauteur le mur occidental, celui-ci est construit de manière homogène et en une seule phase : deux trous de boulin sont utilisés pour le platelage du mur qui mesure 6 m, l'entraxe étant de 3,50 m. Le mur oriental a été manifestement construit en plusieurs temps. Une première phase correspond à la construction du mur en grand appareil sur 4,50 m de longueur : deux alignements de trous de boulin sont nécessaires au montage de l'échafaudage ; ils possèdent 3,00 m d'entraxe. Au nord, un coup de sabre témoigne de l'arrêt de la construction. Dans une seconde phase, le mur est terminé en moellons avec une file de trous de boulin à entraxes réguliers.

Une autre rupture est visible dans les murs de la troisième travée, est et ouest. L'alignement horizontal des trous de boulin ne prolonge pas parfaitement l'alignement des murs précédents. Il y a un décalage de 20 à 40 cm qui se résorbe au niveau du dernier alignement. Cette rupture accompagne le changement d'appareil entre les travées du transept et celle du collatéral. Elle peut également trahir des rythmes de construction différents.

Anne Baud

85- Cluny (71) : transept sud, élévations intérieures des travées 1, 2 et 3 du mur occidental



- 41 Il a été observé sur de nombreux édifices que les trous de boulin sont systématiquement conservés autour des fenêtres. Il avait été dans un premier temps imaginé que ce phénomène était lié à la pose des cintres pour l'arc supérieur. Mais la note de calcul (cf. encart sur les mortiers de Bénédicte Bertholon, chap. 3) laisse plutôt supposer que la pose de tels échafaudages spécifiques est destinée à l'installation ultérieure des vitraux.

Échafaudements spécialisés

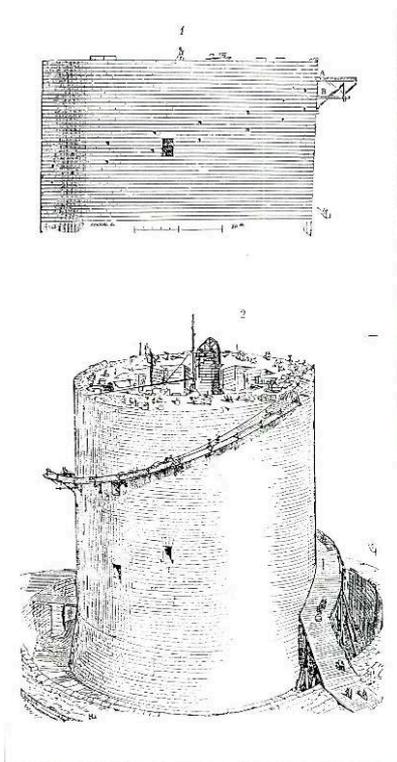
- 42 Dans des zones qui présentent un décor dont la mise en place a exigé les plus grands soins, les platelages sont plus denses. C'est le cas, par exemple, du portail occidental de la cathédrale de Saint-Paul-Trois-Châteaux (**fig. 82**). Il s'agit d'un décor à l'antique, composé d'une suite de quatre supports engagés (deux colonnes et deux pilastres montés sur piédestaux) qui encadrent la porte et son archivolt sculptée. L'ensemble est inachevé : on a abandonné l'ouvrage avant même la pose des chapiteaux. Cette suite de supports antiquisants est enserrée dans une succession de deux platelages dont les boulins sont logés près des supports ; en revanche, tout le reste du premier niveau de la façade, y compris les parties latérales sans décor du même niveau, est vide de trous de boulins. Même spécialisation de l'échafaudage, encore plus nette, dans la façade occidentale de l'église Saint-Gabriel, à Tarascon (**fig. 86**) : au premier niveau, une seule paire de trous carrés flanque les deux rampants du fronton à l'antique surmontant la porte ; au dernier niveau, dessiné en fronton suivant les pentes de la toiture, un *oculus* est orné de moulures richement sculptées et du tétramorphe en fort relief, monté tangentiellement au périmètre et suivant deux diamètres, vertical et horizontal ; deux boulins, d'une section très puissante, ont été logés sous les figures de Marc et de Luc, c'est-à-dire sous le diamètre horizontal ; ce niveau correspond à la hauteur la plus pratique pour la mise en place de la plus grande partie de l'*oculus* et s'observe dans de nombreux cas romans et gothiques analogues.
- 43 L'arcature aveugle qui se développe sur les 7 pans de l'abside de la cathédrale lyonnaise laisse apparaître des exigences du même ordre, mais qui portent aussi sur la qualité de l'appareil et de sa pose.

86- Tarascon (13) : église Saint-Gabriel

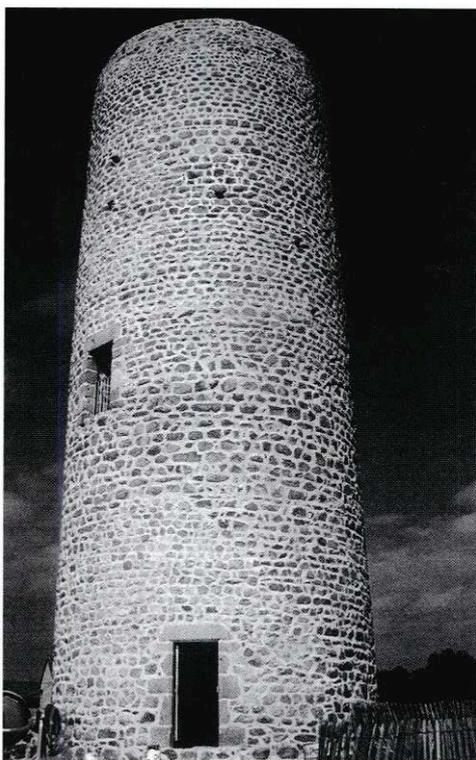


Échafaudage et volume architectural

- 44 La technique de l'enveloppement général du bâtiment par un échafaudage continu peut être abordée de différentes façons. Sa forme la plus élémentaire a déjà été étudiée dans la technique du franchissement des angles formés par la jonction de deux murs : il s'agissait en fait d'envelopper un volume. Si cette technique répond à une difficulté ponctuelle, elle ne semble pas faire appel à une formule pré-élaborée. A la tour des Montmayeur, à Aime, comme dans les édifices romans de Corse déjà cités, la solution adoptée est parfaitement au point et s'affiche comme un système propre d'échafaudement.
- 45 Il existe enfin une technique, illustrée par Viollet-le-Duc (Viollet-le-Duc 1854-1868) : « la construction du donjon de Coucy, qui présente un cylindre dont les parois verticales ont 60 m d'élévation, n'a exigé qu'un échafaudage extrêmement simple, échafaudage qui avait encore le mérite d'épargner les montages lents obtenus par des engins. On remarque sur la surface de l'énorme cylindre, à l'extérieur, une suite de trous de boulin disposés en spirale et formant, à cause de la largeur extraordinaire du diamètre, une pente assez douce ». Ces trous de boulin, espacés de quatre en quatre mètres environ, sont doubles, c'est-à-dire qu'ils présentent deux spirales, ainsi que le fait voir le dessin de Viollet-le-Duc (**fig. 87**). Au moyen de chevrons engagés dans les trous A supérieurs et soulagés par des liens portants dans les trous B inférieurs, le constructeur établissait ainsi, en même temps qu'il élevait sa bâtisse, un chemin en spirale (...) Les maçons et poseurs avaient le soin d'araser toujours la construction sur tout le pourtour du donjon, comme on le voit ici, et sur cet arasement ils circulaient et bardaient leurs pierres. L'iconographie (**fig. 90 et 68**), et les parements de donjon comme celui de Cleppé dans la Loire (**fig. 88**) illustrent cette technique.

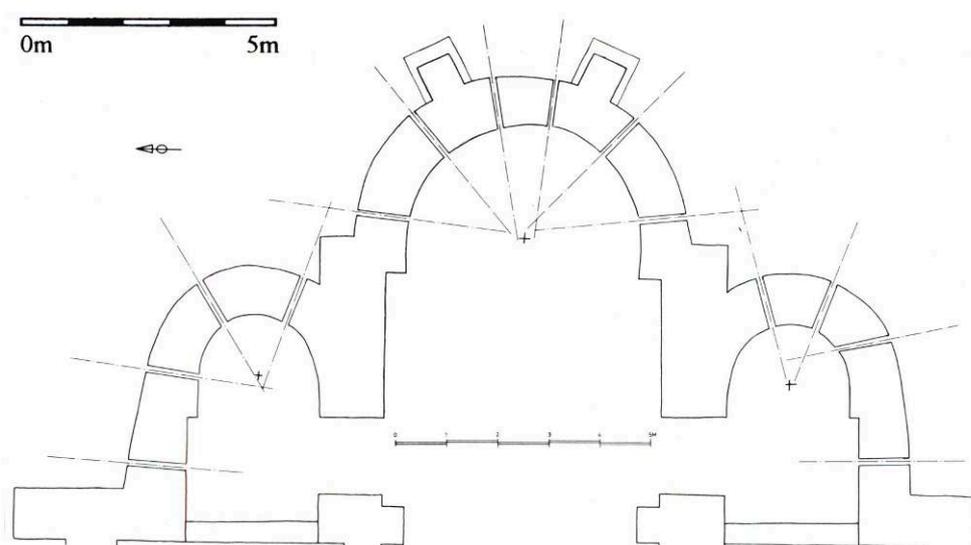
87- Le donjon de Coucy

Viollet-le-Duc 1854-1868, article échafaud. figs. 1 et 2

88- Donjon de Cleppe (42) : traces d'un échafaudage hélicoïdal

- 46 Adapter l'échafaudage aux formes cylindriques pose évidemment problème, surtout dans le cas d'absides dont le faible diamètre éloigne considérablement des surfaces murales (convexes ou concaves) les extrémités des plateaux tangentiels. L'étude menée par Ch. Le Barrier sur les absides de la priorale de Montverdun permet de proposer une hypothèse. Lors du relevé en plan des absides et de la première rangée de boulins, avec toutes les incertitudes que cela peut comporter⁵⁰ il a été constaté une convergence des tracés vers le centre de chacune des absides, de telle sorte que l'on peut envisager en ce point l'emploi d'une perche unique (**fig. 89**). Si ce constat n'est pas un phénomène général, son utilisation paraît s'imposer pour les absidioles dont le rayon interne (1,16 m) va interdire la multiplication des perches. D'autre part, utilisée à la manière d'un compas avec un cordeau tendu, elle pourrait avoir servi à matérialiser le centre géométrique des absides lors de l'implantation et pendant l'édification des murs. Dans cette hypothèse, par son rôle en tant que pivot, elle devient indispensable dès le montage des premières assises, et devra, de ce fait être stabilisée verticalement le plus rapidement possible. Dans ce cas où le rôle de perche-pivot précède la fonction de perche-échafaudage, il devient possible de proposer une seconde interprétation pour les niveaux remarquablement bas de la première rangée des trous de boulon : ne servent-ils pas, en premier lieu, à stabiliser la perche-pivot ?

89- Prieuré du Pic de Montverdun (Boën-42) : relevé en plan de l'abside ; hypothèse de la perche-pivot



90- Un exemple d'échafaudage hélicoïdal en claies, XVe siècle



Paris, Bibl. Nat. de France, Ms. fr. 2810

NOTES

49. Témoignage de Mr Moulin, voir note 20.

50. Si le relevé angulaire des trous sur des murs plans est simple, celui-ci se complique sur des murs courbes. Il faudra rajouter, dans tous les cas, l'incertitude qui provient de la position du boulin par rapport au trou lui-même.

Chapitre 6. Réutilisation de l'échafaudage

- 1 Le reéchafaudement d'un bâtiment peut être fait pour de multiples raisons : surélever, repercer ou reboucher une ouverture, rejointer ou réenduire, repeindre, dépecer, poser ou restaurer des vitraux,... Dans tous les cas, la nature de la tâche influence également le choix de l'échafaudage. Les conditions de sa mise en place vont être ainsi radicalement différentes, car elles s'accompagnent d'une recherche et d'une réutilisation des trous de boulin. A Sainte-Eugénie (Loire), par exemple, les trous antiques sont systématiquement réutilisés lors de la construction médiévale⁵¹.

Le réemploi des trous de boulin

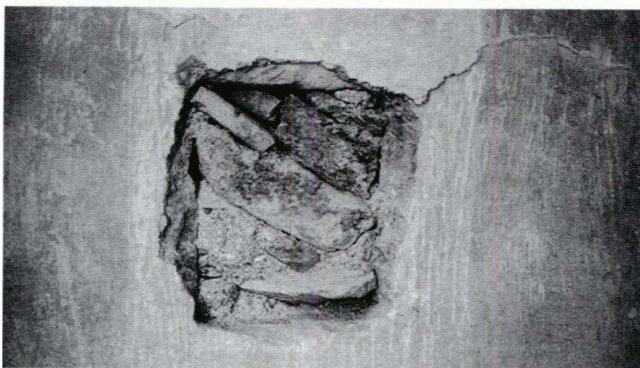
- 2 Après avoir servi à maintenir le premier échafaudage, la destination des trous de boulin est diverse : les parements les ont conservés soit ouverts soit fermés. L'obturation, quand elle existe, consiste en un bouchon*. Ceux des parements internes s'avèrent être mieux conservés, non seulement parce qu'ils sont à l'abri des intempéries, mais aussi parce que l'on a pris soin de les refaire afin d'entretenir l'étanchéité du bâtiment. A l'extérieur, comme l'ensemble des maçonneries, ils sont exposés à une plus grande dégradation qui finit par les percer et qui ouvre la voie à des animaux (rongeurs, oiseaux...) qui vont poursuivre et souvent achever le travail de dégagement.

Les différents types de bouchons

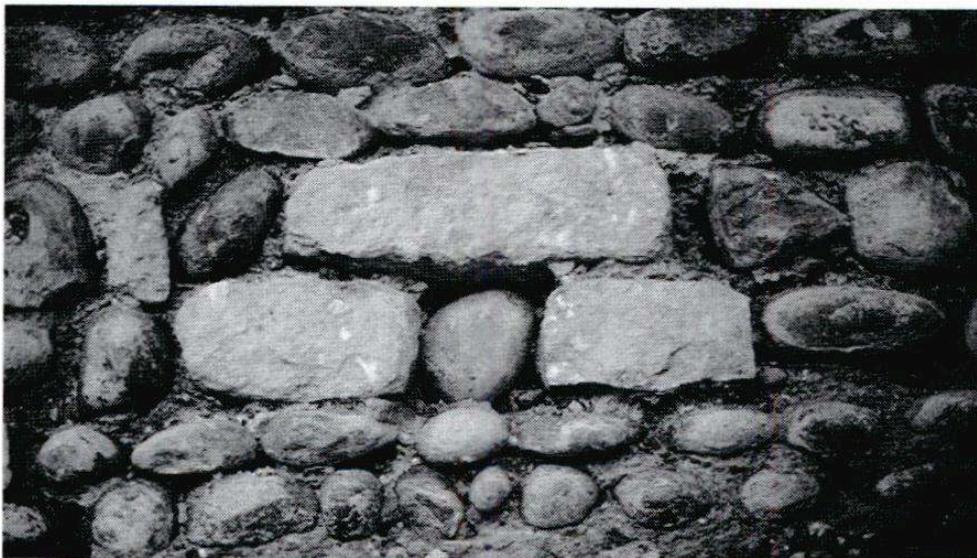
- 3 Le bouchon est de faible profondeur, 0,10 à 0,20 m selon la section du trou et s'amincit souvent à la partie supérieure. Il est, la plupart du temps, constitué de petits matériaux divers. A Cluny (**fig. 91**), à Sainte-Eugénie ou à la crypte de Champdieu, des tuiles et des carreaux de terre cuite sont empilés à l'ouverture du fourreau, et soigneusement maçonnés avec du mortier. Le galet est aussi utilisé comme mode de bouchage, comme à Saint-Paul-de-Varax (**fig. 92**). Aux cathédrales de Saint-Jean-de-Maurienne et de Die, des opercules de mortier, consolidés par des inclusions de tuf, ferment l'ensemble des trous de boulin. Dans l'abside de Saint-Jean de Lyon, ceux de l'arcature aveugle sont finement bouchés avec un mortier comprenant également des déchets de taille. A

Chambles, un procédé identique est utilisé sur le mur gouttereau sud de la priorale Sainte-Foy-du-Châtelet (**fig. 93**).

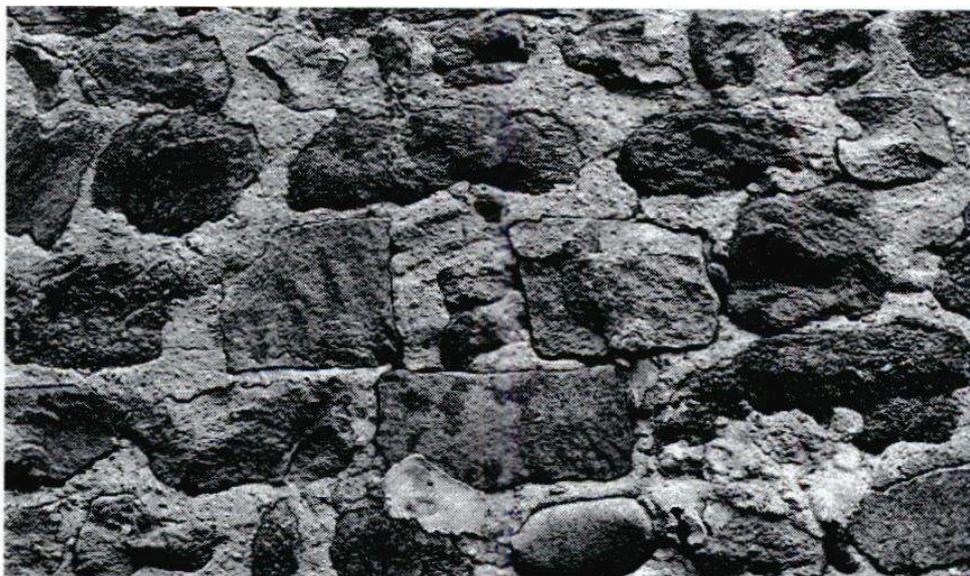
91- Cluny : bouchons de tuiles et carreaux



92- Saint-Paul de Varax (01) : bouchon en galet



93- Chambles (42), prieuré Sainte-Foy-du-Châtelet



Bouchage d'origine : le mortier utilisé est le même que celui des joints du parement

- 4 Dans le moyen et le grand appareil, les bouchons sont parfois constitués par des dés de pierre très ajustés. Tel est le cas à la façade de Sainte-Eugénie et au transept de la cathédrale de Lyon.
- 5 Les bouchons de bois sont plus rarement conservés et probablement moins utilisés à cause de leur nature périssable ; pour exemple, le bouchon conservé dans l'assise surmontant la rose de Notre-Dame-du-Haut-Don (Saint-Jean de Lyon). Ce bois est parfaitement calibré et enfoncé à quelques centimètres du bord.

L'échafaudage après l'échafaudage

- 6 Nous savons peu de choses sur la réutilisation des trous de boulin originels lors d'opérations ultérieures. Les photographies conservées de la restauration de l'abbatiale de Cruas par l'architecte Révoil à la fin du XIXe s. attestent, néanmoins, cette pratique (**fig.14**). Par ailleurs, il est difficile de dater les bouchons conservés : sont-ils d'origine ou bien sont-ils refaits à la suite de restaurations ? Les éventuels bouchages modernes et le remplissage organique des fourreaux ne prouvent pas que les trous de boulin soient restés libres à l'origine.

Réutilisation liée à la restauration

- 7 L'étude des enduits du transept sud de Cluny (**fig. 94**) a montré que les trous de boulin ont servi aux échafaudages des restaurations successives. Les enduits sont soigneusement crevés à l'emplacement de la plupart des trous de boulin, prouvant que ceux-ci ont été débouchés et réutilisés jusqu'au XIXe s. Ce réemploi n'est pas systématique, car les échafaudages peuvent varier de points d'appui au cours des campagnes. En voulant repérer les trous de boulin « non débouchés » sur les enduits les plus anciens (datés entre le XIIe et le XIIIe s.), des marques réalisées sur enduit frais ont été observées à trois reprises. A proximité de la porte romane, elles dessinent soit une croix, soit un carré mal calibré reprenant approximativement l'ouverture du trou. Sur

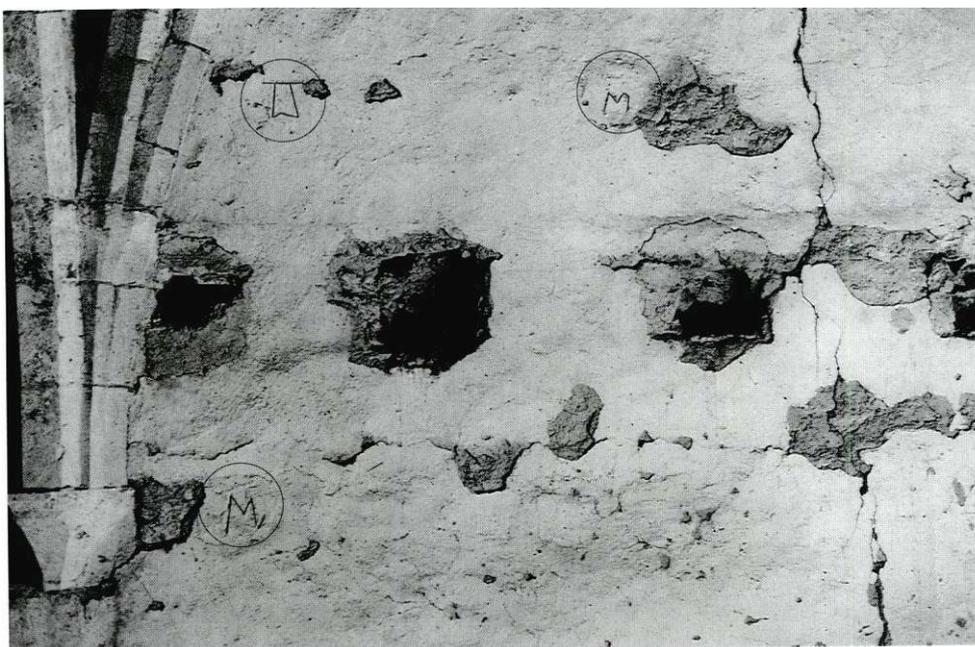
le mur oriental de la première travée du transept, les différents bouchages donnent de précieuses indications sur la chronologie entre les phases de reblanchiment et la pose du décor de faux joints. L'enduit qui accompagne cette dernière phase ne concerne pas l'ensemble des murs. Tous les trous de boulin ne sont pas réutilisés et des niveaux entiers de platelages sont ignorés. On peut alors s'interroger sur la manière d'accéder à cet échafaudage partiel. En revanche, au niveau des fenêtres, tous les trous de boulin ont été repris pour la restauration. Au fur et à mesure du démontage de l'échafaudage, on a bouché les trous de boulin avec des briques, puis masqué l'ouverture avec une couche d'enduit pour appliquer le décor de faux joints. L'enduit du bouchage non badigeonné se distingue aisément de l'enduit des murs.

94- Cluny III, transept sud de l'église abbatiale, marquage d'un trou rebouché



- 8 A l'intérieur de la chapelle de Sainte-Eugénie de Moingt, le rebouchage est également consécutif à l'application d'un badigeon. Un enduit couvre largement la surface du trou et s'inscrit en légère saillie. Comme à Cluny, la surface de l'enduit frais a été marquée, parfois d'un simple trait, mais le plus souvent par des lettres « M » et « D » (**fig. 95**) ; ces marques sont destinées à faciliter le travail du prochain blancheteur.

95- Montbrison (42) : chapelle Sainte-Eugénie, marquages pour le repérage de trous de boulin rebouchés



- 9 A l'intérieur de la cathédrale de Lyon, dans les parties supérieures du chœur, le parement poli laisse difficilement deviner un bouchage discret. A l'extérieur, dans l'arcature aveugle de l'abside, les trous présentent une surface soigneusement lissée : les bords des ouvertures sont finement chanfreinés pour éviter sans doute qu'une ombre trop nette n'en souligne l'emplacement.

Déplacement de l'échafaudage dans le chantier l'exemple de Cruas

A Cruas, l'étude des élévations a révélé que l'église a été construite d'est en ouest, travée par travée. La technique utilisée consiste à amorcer l'arc des grandes arcades de la travée suivante jusqu'à l'angle limite de 30°. Elle permet, pour chaque travée, de raidir les parties porteuses : piles, colonnes et pilastres et d'économiser le boisage, puisque l'arc amorcé tient seul sans le soutien d'un cintre. Celui-ci est alors récupéré dans la travée précédente qui est terminée et déplacé dans celle en chantier. Au rez-de-chaussée, l'échafaudage, comme on l'a vu au niveau des installations au sol, est à deux rangs de perches. Il est monté jusqu'au niveau du cintre des grandes arcades. A partir de la plate-forme qu'il soutient, on peut faire ripper le cintre de l'arcade précédente en restant au niveau de pose. Cette technique explique que l'échafaudage soit en place devant une travée non construite, et que celui-ci soit monté indépendamment du mur. Grâce à l'observation des trous de boulin conservés dans les parties hautes, et de l'implantation des perches au sol, on peut proposer une restitution du montage de l'échafaudage et du déroulement des opérations : l'échafaudage au niveau des grandes arcades de type à deux rangées de perches reste indépendant du mur et se développe vers l'ouest, en avant de ce qui sera la travée suivante. L'arc monté, celui de la travée suivante amorcé jusqu'à l'angle limite de 30°, on ripe le cintre. Les deux niveaux supérieurs de la nef (étage aveugle, étage des claires-voies) sont montés à partir du second niveau, par le biais d'un échafaudage de type encastré.

Le rang de perches qui était parallèle au mur n'est pas continué en hauteur, ce qui facilite les circulations et le déplacement du cintre. Les boulines viennent alors s'encastrent dans les trous prévus à cet effet dans le mur.

Les coups de sabre dans les maçonneries, et les différences de niveaux des platelages marqués par les alignements horizontaux des trous, laissent supposer qu'à partir du second niveau les échafaudages de chaque travée sont relativement indépendants les uns des autres. Dans les deux premières travées, quatre niveaux de platelage se lisent, séparés en deux séries, dont les horizontales se décalent, à la retombée de l'arc doubleau.

Nous sommes ici en présence d'un remarquable exemple d'économie de boisages, et cet exemple illustre bien le fait que le choix d'un type d'échafaudage, ou la simultanéité de types différents dans une même construction ne sont en aucun cas à étudier selon des critères chronologiques.

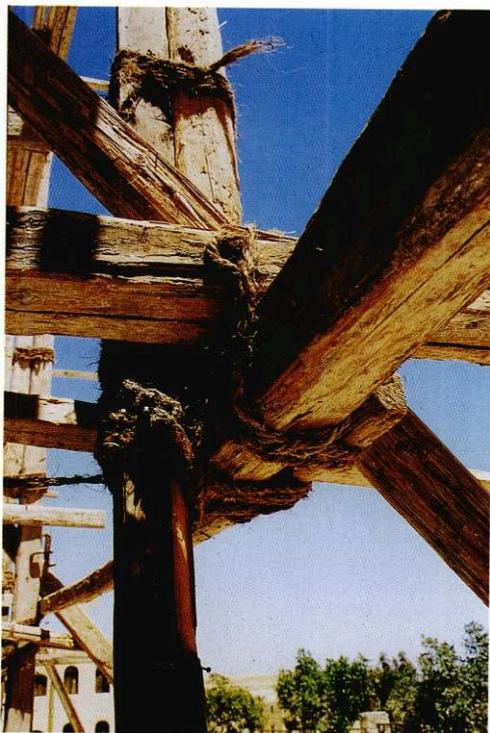
Joëlle Tardieu

Reprises tardives

- 10 Plusieurs exemples témoignent de la réutilisation des trous de boulin dans le cadre de restaurations jusqu'au début du XXe s.
- 11 En 1846, lors de la restauration de la cathédrale d'Amiens, l'abbé Jourdain condamne le recours à des échafaudages volants. L'emploi de ce « frêle et parcimonieux appareil » est alors récent, puisque la cathédrale disposait, aux siècles précédents, d'un échafaudage de pied à demeure, qui servait aux divers besoins d'entretien et de réparation. Il relate le percement d'« autant de trous qu'il y a de pièces de bois à y engager » dans les « contreforts vierges ». Après utilisation, ces trous sont bouchés avec des pierres « qui ne prennent jamais la nuance de la pierre principale et dont le joint se creuse et se dessine bientôt à la pluie »⁵².
- 12 L'étude des documents photographiques conservés à la Direction du Patrimoine est également riche en renseignements, notamment les clichés des photographes Mieusement et Durand⁵³ qui effectuent, à partir de 1870, des campagnes de prises de vue à travers toute la France à la demande de la Commission des Monuments Historiques.
- 13 Les trous de boulin de mauvaise qualité peuvent signaler des restaurations. Ils sont retaillés dans le bâti achevé et sont reconnaissables à leurs arêtes éclatées. Les bois sont emmanchés en force, et souvent dans les joints, au mépris de toute considération de sécurité. C'est pourquoi il faut être prudent sur l'interprétation des bois conservés, d'où l'intérêt d'effectuer une analyse dendro-chronologique. Dans d'autres cas, les textes complètent les données archéologiques. Ainsi, le boulin, pris dans la maçonnerie de la chartreuse de Champmol, atteste bien de l'utilisation des trous de boulin pour les échafaudages de l'église : en 1387, on fait fabriquer à la forge du chantier « deux ciseaux de fer baillies a Poinceot de Lyon eschaffaudeur pour couper et troussonner bois qui estoit dedens les pertuis des murs de leglise et lui aidier a faire eschaffaues diz ouvrages ».
- 14 Au Montverdun, des éléments de charpentes remployés, et enfoncés en force, n'ont pu être extraits au moment du démontage et ont été sciés au ras du mur. C'est

probablement ce type de boulin remployé que l'on risque de retrouver le plus fréquemment dans les murs.

96- Monastère copte de Sainte-Antoine-du Désert (Egypte), détail d'assemblage



NOTES

51. L'un d'entre eux, situé au niveau d'arasement du mur antique, a même fait l'objet d'une restauration.

52. Séance du 7 novembre 1846, dans *Bulletin monumental*, t - III, 1847, p. 70 sq., cité dans J.-M. Leniaud ; *Les cathédrales au XIXe s.*, Paris, 1993, p. 260.

53. D'après une note de Dominique Peyre, Conservation régionale des monuments historiques, Rhône-Alpes.

Conclusion

- 1 Nos recherches sur le chantier de construction à l'époque médiévale nous ont amenés à aborder un domaine méconnu mais essentiel ; l'échafaudage ancré. L'analyse archéologique d'un édifice ne peut pas, en effet, dissocier les modes d'échafaudement de la mise en oeuvre du bâti : tous deux évoluent conjointement.
- 2 A l'origine d'une démarche méthodologique destinée à s'appliquer aux monuments, aux textes et aux images, la nécessité d'une approche pluridisciplinaire nourrie par la confrontation de données d'origines différentes s'est révélée riche en enseignements. Celle-ci a permis de replacer l'échafaudage dans la culture matérielle du Moyen Age, dans sa conception, dans sa réalisation et dans son usage. La lecture des élévations a entraîné la mise au point d'une méthode systématique d'analyse qui prend en compte toutes les données métriques, descriptives et quantitatives des structures. L'opportunité des investigations archéologiques sur les élévations et sur le sous-sol, souvent sur des édifices majeurs, a fourni la matière pour cette réflexion qui a été complétée par une approche historique spécifique des textes et de l'iconographie.
- 3 L'espace géographique concerné par cette étude fut volontairement concentré sur une période (XIe-XVe s.) et une région témoin, le milieu rhodanien et l'axe Rhône-Saône. Il resterait à tester si son caractère exemplaire peut-être généralisé ; par ailleurs certaines parties de l'échafaudage n'ont volontairement pas été traitées, comme par exemple les cintres ou les engins de levage.
- 4 Cette étude propose un certain nombre d'acquis, valables certes dans un cadre régional et pour un *corpus* donné de monuments, mais qui n'en constituent pas moins une base solide pour des recherches nouvelles.
- 5 Ces acquis sont doubles : nous proposons d'une part une typologie de l'échafaudage médiéval - encastré, indépendant, en bascule - mais, celle-ci n'est pas une fin en soi. En effet les techniques de montage, dans leur simplicité, ont pérennisé des genres invariables d'échafaudement que l'on rencontre depuis l'Antiquité jusqu'au XIXe s., voire au XXe s. Ces différentes formes peuvent être employées simultanément. L'apport de nos recherches réside aussi dans la mise en évidence d'une réalité significative : si l'échafaudage a ses propres contraintes liées à des problèmes de sécurité, de circulation, et de dépôts..., la construction des maçonneries en dicte le montage. Comme les formes générales, les savoir-faire eux-mêmes sont susceptibles de durer :

ainsi le marquage des trous bouchés en vue de leur réutilisation est pratiqué du Moyen Age jusqu'au siècle dernier. Ce souci est pris en charge dès la construction : ce n'est pas une marque laissée comme une cicatrice, mais elle garde sa fonction en vue de l'entretien. L'échafaudage encastré est donc conçu pour le présent comme pour l'avenir.

- 6 Nous revenons par ailleurs sur certains a priori : ainsi le choix des essences, et la morphologie des pièces de bois mises en oeuvre ne s'effectuent pas seulement suivant des critères techniques, mais plutôt naturels et économiques ; de même les textes indiquent que les ligatures ne sont pas exclusivement réalisées à l'aide de cordages, mais aussi, entre autres, à l'aide de clous.
- 7 Outre ces acquis d'ordre général, l'étude du trou de boulin a révélé des particularismes liés à la configuration du bâti, qu'il s'agisse des éléments saillants ou des vides. Ainsi la structure des conduits est-elle révélatrice d'un système d'échafaudement. Leur orientation varie, par exemple, en fonction du type d'échafaudage retenu, mais aussi en fonction de la nature du mur, de ses parements et de son appareil.
- 8 La présence de trous traversants s'est, de ce fait, imposée comme étant une méthode d'analyse fiable pour prouver la contemporanéité des parements internes et externes d'un même mur.
- 9 A partir de ces premiers résultats, il est possible de définir de nouveaux axes de recherche.
- 10 - Alors que l'archéologie analyse aujourd'hui l'influence de la géologie sur l'art de bâtir, une enquête systématique, de même type, serait à développer sur le rapport entre le milieu naturel et l'échafaudage. Les solutions retenues dans les pays humides sont-elles différentes de celles adoptées dans les pays méditerranéens ?
- 11 - L'aspect économique est-il un facteur déterminant dans le choix des essences et du type d'échafaudage ? Les textes sont sans ambiguïté, du moins pour l'époque tardive : la cherté relative des bois longs a influé sur la structure et/ou la mise en oeuvre des échafaudages. Elle imposait parfois au constructeur d'économiser drastiquement le matériau, voire de se servir de pièces qu'il n'avait pas le droit de scier ou de tailler. Dans ce domaine également, une distinction est manifestement à introduire entre grands et petits chantiers, mais même pour les monuments prestigieux les maîtres d'ouvrage ont regardé à leurs dépenses.
- 12 Cependant, le coût de l'échafaudage n'est pas le seul aspect de la question. Il convient de se demander dans quelle mesure la multiplication des chantiers à certaines époques n'a pas favorisé un commerce du bois d'échafaudage et développé consécutivement une spécialisation des matériaux selon la fonction (bois résistant à la flexion pour les boulins, les longerons ; à la compression, pour les perches ; bois adaptés aux planchers...). On doit envisager aussi la situation inverse : une relative pénurie, en favorisant une économie de récupération, ou de substitution, qui entraînerait une évolution significative des modes d'échafaudement ?
- 13 - Les structures éphémères - estrade, tréteaux - déduites par l'absence de trous de boulin et illustrées par l'iconographie formeraient un thème de recherche complémentaire. On a été ainsi amené à négliger les structures autres que l'échafaudage encastré, seul ouvrage qui ait laissé des traces suffisantes dans les bâtiments, confirmées dans les textes et l'iconographie. Il a été nécessaire d'abandonner de nombreuses questions, que seul un travail d'envergure sur l'ensemble

des structures temporaires en bois pouvait aborder. Qu'en est-il, par exemple, des relations entre l'échafaudage et la charpente ? Quel rôle jouaient les charpentiers reconnus dans le montage des échafaudages ? Les opérations étaient-elles laissées à des acteurs non spécialisés du chantier, ou, au contraire, spécialistes à plusieurs titres : charpenterie, taille de pierre et maçonnerie ? Comment s'articulaient, lors du voûtement, les ouvrages portant les cintres, qui ont laissé des traces d'ancrage similaires, et les échafaudages intérieurs ? Quel rapport les techniques d'échafaudement entretiennent-elles avec les savoir-faire d'une région ou d'un groupe humain ?

- 14 - Il semblerait enfin qu'il existe une différence entre les modes de construction romans et gothiques. En effet, à l'époque romane, les dimensions des entrées de trous de boulin sont homogènes et de faible section, alors que dans les édifices gothiques, sur un nombre d'exemples malheureusement non encore significatifs, les dimensions des ouvertures sont très diverses. Ces données sont-elles suffisantes pour dégager des séquences chronologiques sur l'évolution du mode d'échafaudement et pour opposer un système roman à un système gothique ?
- 15 La présente synthèse illustre l'intérêt d'une recherche systématique sur les installations éphémères du chantier dans la compréhension du bâti médiéval. Ainsi notre approche veut-elle contribuer à l'étude de la mise en oeuvre monumentale, et des conditions du travail de ses réalisateurs. Souhaitons qu'elle puisse devenir une utile introduction à de futurs travaux.

Annexe

- 1 La recherche sur l'échafaudage médiéval repose sur la mise en commun des données disparates émanant des travaux personnels des différents participants. Nous nous sommes rapidement rendu compte que ces informations étaient d'intérêt très variables surtout lorsqu'il s'agissait d'études déjà anciennes.
- 2 L'archéologie du bâti est, en effet, une science récente sujette à d'incessantes évolutions, et ce programme a révélé les carences dans ce domaine.
- 3 Nous avons, donc, choisi de nous baser sur les études les plus récentes afin de réaliser une fiche qui a permis d'homogénéiser les données en les synthétisant. Mais il s'est vite avéré difficile de traiter un parement dans son entier du fait, entre autres, du déplacement des échafaudages par travée, ou de la présence d'éléments bornants. Ces observations ont conduit à élaborer la notion d'unité de développement. Ce concept induit une lecture partielle de l'élévation, tout en permettant de prendre en compte les variantes des systèmes utilisés.
- 4 Par ailleurs, la lecture de ces fiches a montré l'aspect systématique de certaines données (section des trous de boulin, hauteur des platelages...), sans rapport avec une évolution chronologique mettant, ainsi, en exergue des constantes propres à l'édification d'un échafaudage.
- 5 Chaque édifice mentionné dans le texte a donc fait l'objet d'une mise en fiche (*cf.* liste *infra*). Ce n'est qu'à titre d'exemple que l'une d'entre elles est ici présentée.
- 6 Nom : **abbatiale de Cluny**
- 7 Commune : Cluny
- 8 Département : Saône et Loire (71)
- 9 Vocabulaire : Saint-Pierre et Saint-Paul
- 10 **Parties étudiées** : murs intérieurs du grand transept sud et murs intérieurs et extérieurs du mur gouttereau sud (quatre travées subsistantes).
- 11 **Datation** : dernier quart du XI^e s.
- 12 **Matériaux et appareil** : provenant des carrières alentours.
- 13 Petit appareil : murs intérieurs et extérieurs des deux premières travées du transept, murs extérieurs de la troisième travée et murs gouttereaux intérieurs et extérieurs. Les

moellons en calcaire sont soigneusement dressés. Ils sont liés par un mortier marqué à la truelle.

- 14 **Grand appareil** : murs intérieurs de la troisième travée du transept correspondant au collatéral sud et ossature du transept (piliers, contreforts, arcs). Les pierres de taille sont en calcaire à la base du bâtiment et en calcaire et arkose dans les deux derniers tiers de la hauteur des élévations. Les arcs sont exclusivement taillés dans l'arkose.
- 15 **Type d'intervention** : relevés pierre à pierre, relevés photogrammétriques et couverture photographique dans le cadre d'une étude pour le projet de mise en valeur du site par les monuments historiques. (Maître d'oeuvre F. Didier, A.C.M.H)
- 16 **Description sommaire du plan et du couvrement** : église à 5 nefs et à double transept, précédée d'une avant-nef. L'abside possède un déambulatoire à chapelles rayonnantes. L'église a été complètement détruite après la Révolution sauf au sud, le grand transept supportant le clocher de l'Eau Bénite et le petit transept qui conserve une partie de son élévation.
- 17 Une voûte en berceau brisé couvrait le vaisseau principal et des voûtes d'arête protégeaient les collatéraux. Le clocher de l'Eau Bénite est construit sur une coupole montée sur trompes.
- 18 **Intervenants** : Anne Baud, archéologue ; et Ghislaine Macabéo, dessinatrice.

Cluny - Transept sud - Mur ouest Parement intérieur

- 19 4 éléments bornants = piliers engagés ; 3 travées (MW1, MW2, MW3).

Description du mur ouest, tracé 1 (MW1)

- 20 Longueur de mur : 6 m
- 21 Hauteur de mur : 19,50 m
- 22 Epaisseur de mur : en partie basse : 113 cm ; en partie haute renforcée par arc formeret : 2 m.
- 23 Trous de boulin
- 24 Maçonnés (28)
- 25 Taversants : file nord ; borgnes : 2 files gauche
- 26 Perpendiculaires au mur
- 27 Dimensions : 0,14 x 0,14 cm
- 28 Fermeture : briques + tuiles (27) ; plus recouvrement enduit (21).
- 29 Alignement horizontal
- 30 3 par ligne, puis 2 sous voûte.
- 31 Entraxes : W-1,80 m et 2 m - E - 3 m.
- 32 Platelages (15)
- 33 Hauteur du 1er platelage : 0,60 m au dessus du sol et 1,30 m au-dessus des fondations.
- 34 Hauteur entre platelages : entre 1,10 m et 1,30 m. Mur recouvert d'enduit.
- 35 Alignement vertical

36 composition : 2 ensembles (rupture à 10,80 m audessus du sol).

Description de mur ouest, tracé 2 (MW2)

37 Longueur de mur : 8,20 m

38 Hauteur de mur : 24 m

39 Epaisseur de mur : 1,10 m (en partie basse), 1,50 m (en partie haute).

40 Trous de boulin

41 Maçonnés (62)

42 Traversants : perpendiculaire au mur - sauf 4 orientés selon un angle à 60°, direction sud.

43 Fermeture : absente.

44 Alignement horizontal

45 1er niveau, 3 ou 4 par ligne ; 2e niveau, 4 par ligne ; 3e niveau, 1 ou 2 par ligne.

46 Entraxes : 1,10 m à 3,50 m en fonction des fenêtres et du contrefort extérieur.

47 Platelages (18)

48 Hauteur du 1er platelage : 0,60 m au-dessus du sol

49 Hauteur entre platelages : 1,30 m

50 Nombre d'assises entre platelages : entre 6 et 10 assises.

51 Alignement vertical

52 composition : 2 ensembles - rupture à 19,50 m.

Description du mur ouest, tracé 3 (MW3)

53 Longueur de mur : 6 m

54 Hauteur de mur : 24 m

55 Epaisseur de mur : 2 m (?)

56 Trous de boulin

57 Façonnés : 1er niveau :2

58 Maçonnés : 2e niveau :2

59 Traversants : perpendiculaires au mur

60 Dimensions : 0,15 x 0,15 m à 0,20 x 0,20 m.

61 Fermeture : absente.

62 Alignement horizontal

63 1er niveau, 2 par ligne ; 2e niveau, 3 par ligne

64 Entraxes : 3,50 m (1er niveau), 2 m (2e niveau).

65 Platelages (6)

66 Hauteur du 1er platelage :12 m au-dessus du sol

67 Hauteur entre platelages : de 1, 20 m à 1,50 m

68 Nombre d'assises entre platelages : 1 à 2 assises.

- 69 Alignement vertical
70 composition : 1 ensemble.

Liste des édifices mise en fiches

- 71 **Aime-en-Tarentaise (Savoie)** - Tours des Montmayeur - Donjon (analyses dendrochronologiques : 1510-1511) - Restauration M. H. - Intervention 1984, ss la dir. de : J. Tardieu.
- 72 **Arles (Bouches-du-Rhône)** - Priorale Saint-Honoratdes-Alyscamps - Relevé mur gouttereau sud (mi-XIe s.) - Intervention, A. Hartmann-Virnich.
- 73 **Arles (Bouches-du-Rhône)** - Ancienne cathédrale Saint-Trophime - façade occidentale, mur gouttereau sud et nord de la 4ème travée du vaisseau principal - Intervention 1986-1987, A. Hartmann-Virnich.
- 74 **Berrias-Casteljau (Ardèche)** - Commanderie de Jallès - Intervention, 1995 : J. Tardieu.
- 75 **Cluny (Saône-et-Loire)** - Abbatale Saint-Pierre et Saint-Paul (dernier quart du XIe s., premier quart du XIIe s.)
- Murs extérieurs du grand transept sud et murs intérieurs et extérieurs du mur gouttereau sud (quatre travées subsistantes)
- Restauration M.H. - Intervention 1993, ss la dir. de : A. Baud.
- 76 **Cruas (Ardèche)** - Abbatale Notre-Dame - Elévation est-ouest de la nef (fin XIe-fin XIIe s.), murs gouttereaux nord et sud - Restauration M. H. - Intervention 1983-1989, ss la dir. de : J. Tardieu.
- 77 **Die (Drôme)** - Cathédrale Notre-Dame - Mur occidental de la nef, parement intérieur (seconde moitié du XIIe s.) Restauration M.H. - Intervention 1994, N. Reveyron et J. Tardieu.
- 78 **Ecotay (Loire)** - Donjon du château - (XIIIe-XIVe s.) - Intervention, Ch. Le Barrier.
- 79 **Léoncel (Drôme)** - Abbaye Notre-Dame - Mur de façade : partie basse (sections nord et médiane) et partie supérieure (niveau du clair étage de la nef). Mur gouttereau de la nef (seconde moitié du XIIe s.) - Intervention 1980-1996 ss la dir. de : J. Tardieu.
- 80 **L'Hopital-sous-Rochefort (Loire)** - Priorale Notre-Dame - Sondage archéologique pour l'étude préalable à la restauration M. H., 1992, P. Roussel.
- 81 **Lhuis (Ain)** - Notre-Dame de l'Assomption - Eglise préromane - Intervention (sondage archéologique contre mur gouttereau nord de la nef) 1990. ss la dir. de : J. Tardieu.
- 82 **Lyon (Rhône)** - Cathédrale Saint-Jean - Chevet et mur est du transept ; enveloppe extérieure (dernières décennies du XIIe s.) - Restauration M. H. - Intervention 1989-90. ss la dir. de : N. Reveyron.
- 83 **Montbrison (Loire)** - Chapelle Sainte-Eugénie - Elévation extérieures et intérieures (fin du XIIIe - début XIVe s.) - Etude préalable à la restauration M. H., 1994 - 95, Ch. Le Barrier.
- 84 **Montbrison (Loire)** - Chapelle de la Commanderie de Saint-Jean-des-Prés - Elévations extérieures (fin XIIe s.) - Intervention 1995, Ch. Le Barrier.
- 85 **Montverdun (Loire)** - Le prieuré du pic de Montverdun (fin XIIIe s.) - Restauration M. H. - Intervention 1985 - 1995, Ch. Le Barrier.

- 86 **Montverdun (Loire)** - Fortifications du pic de Montverdun - Tours et remparts (XIIIe - XVIe s.) - Stages M. H. - Intervention 1990-1995, Ch. Le Barrier
- 87 **Moûtiers-en-Tarentaise (Savoie)** - Cathédrale Saint-Pierre (XIe s.) - Elévations extérieures sud (nef, transept, tour, abside) - Elévations intérieures (parties hautes transept et tour sud) - Restauration M. H. - Intervention 1990, ss la dir. de : I. Parron.
- 88 **Saint-Jean-de-Maurienne (Savoie)** - Cathédrale Saint-Jean-Baptiste (XIe s.) - Elévations extérieures sud - Restauration M. H. - Intervention 1993, ss la dir. de : I. Parron.
- 89 **Saint-Paul-Trois-Châteaux (Drôme)** - Cathédrale Notre-Dame et Saint-Paul (2ème quart XIIe s : absides, transept, parties des murs gouttereaux) (dernier quart du XIIe s. : nef, clocher) - Relevé partie inf. façade ouest - Intervention 1984 - 1985. A. Hartmann-Virnich.
- 90 **Saint-Paul-de-Varax (Ain)** - Eglise Saint-Paul - Mur gouttereau nord de la travée de chœur (1ère moitié XIIe s.) - Surveillance lors de la restauration M. H., ss la dir. de : J. Tardieu.
- 91 **Saint-Rambert-sur-Loire (Loire)** - Priorale Saint-Rambert - Clocher-porche (XIe s.) - Elévation extérieure ouest - Etude préalable à la restauration M.H., Intervention 1993, ss la dir. de : I. Parron.
- 92 **Saint-Romain-le-Puy (Loire)** - Priorale Saint-Romain (XIe s.) - Elévation extérieure du chevet - Restauration M. H. - Intervention 1995, I. Parron, G. Macabéo.
- 93 **Sainte-Jalle (Drôme)** - Sainte-Anastase - Murs gouttereaux nord et sud, façade occidentale (XIIIe s.) - Intervention 1987, ss la dir. de : J. Tardieu.

Glossaire

- 1 N.B. : les termes indiqués en italique gras ne figurent pas dans les dictionnaires courants.
- 2 **abouter** : mettre bout à bout.
- 3 **aboutement** (assemblage, enture,) : réunion de deux pièces verticales de charpente, "de deux perches par le bout" (Ginouvés 1985, p. 117 et Chabat 1875, p. 8) réalisé au moyen de deux ligatures.
- 4 **aisselier (lien)** : "pièce de bois droite ou courbe travaillant dans un plan vertical, soulageant une pièce horizontale et portant sur une pièce verticale ou oblique. (Inventaire Général 1972, col. 78). Il sert "à fortifier l'assemblage des deux pièces de charpente et à en empêcher l'écartement" (Chabat 1875, p. 24). (**fig. 97A**).
- 5 **bastaing ou basting** : ce mot venant de bâtir apparaît vers 1877 (Petit Robert). Pièce de bois de section rectangulaire (0,065/0,165 ou 0,18 - 0,6/0,12 m) utilisée pour les étalements ou les coffrages. Le bastaing est plus petit que le madrier (Fonquernie 1989, p. 159).
- 6 **battage** : action d'enfoncer dans le sol par percussion (Fonquernie 1989, p. 159).
- 7 **bouchon** : pièce qui sert à boucher. Ici, éléments (pierre, céramique, maçonnerie...) destinés à fermer les trous de boulin ou tout autre petit espace entre les pierres de taille.
- 8 **boulin** : (**fig. 2**).
- 9 **brêlage** : voir épissure.
- 10 **buttonage** : pontage entre deux éléments par des étrésillons, formant un triangle indéformable.
- 11 **calepinage, calepin** : "dessin représentant le travail à exécuter en pierre de taille et sur lequel les dimensions de chaque pierre sont indiquées :
calepin d'appareil : dessin qui reproduit, à une échelle déterminée la partie à construire,
calepin de pose : double du calepin d'appareil sur lequel sont reproduites toutes les marques permettant la pose des pierres taillées" (Noël 1968).

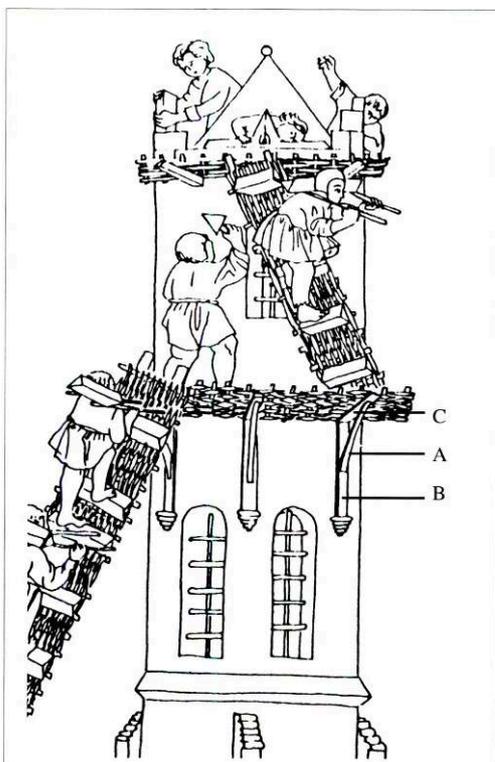
- 12 **capeler** : entourer quelque chose d'une boucle de cordage ou « cape ». (Mendoza 1992, p. 10).
- 13 **chandelle** : petit bloc posé sur chant dont la minceur tranche par rapport aux modules habituels, employé pour compléter une assise. Etalement vertical destiné à soutenir des pièces soumises à la flexion (charpente).
- 14 **charpente** : "ouvrage formé de pièces de bois assemblées" (Inventaire Général 1972, col. 68).
- 15 **chevron** : proviendrait d'un terme du latin populaire *caprio*, *capra* (pièce de bois équarrie) et pourrait dater du XIIIe s. (Petit Robert). Cette pièce de bois (chêne) débité est de section carrée (0,08/0.08 m) (Chabat 1875, p. 290).
- 16 **contreventement** : (fig. 2).
- 17 **demi-clé** : "boucle effectuée par le bout autour du dormant comme pour un deminoeud, mais à cette différence que dans la demiclé, le bout est ramené parallèlement au dormant et dans la même direction. C'est aussi le nom d'un amarrage, couramment utilisé pour tourner un cordage sur un taquet" (Mendoza 1992, p. 11).
- 18 **échafaudement** : "le terme est couramment employé, à l'heure actuelle, sur les chantiers de restauration pour désigner les travaux en cours du montage d'un échafaudage. C'est pourquoi il a semblé utile de l'emprunter pour le vocabulaire de la recherche : en effet, le substantif "échafaudage", tiré au début du XVIe s. (Dictionnaire Robert, 1978, vol.2, p. 345) du substantif "échafaud" - résultat de l'action d'échafauder - pour désigner l'action elle-même, a fini, suite à un glissement sémantique typique, par se spécialiser dans la désignation de l'objet lui-même. L'emploi du doublet "échafaudement" a le mérite de clarifier les textes" (Reveyron 1995).
- 19 **échafaudage (échafaud)** : "ouvrage provisoire en charpente, fixe ou mobile, établi pour permettre d'élever des maçonneries" (Viollet-Le-Duc vol. 6, p. 103) et destiné à porter les ouvriers et les matériaux pour la construction ou la réparation des bâtiments" (Chabat 1875. p. 447 et Inventaire Général 1972, col 70). "L'échafaudage comprend normalement un assemblage de pièces verticales, longitudinales, transversales, éventuellement obliques, supportant un plancher" (Ginouvés 1985, p. 116).
- 20 **échafaudage de pied** : l'assemblage dressé parallèlement au parement repose sur le sol.
échafaudage de pied à deux rangées de perches (fig. 2).
échafaudage de pied à un rang de perches de type encastré (fig. 2).
échafaudage encastré en bascule (en encorbellement, en éventail, en porte-à-faux, volant) : il ne prend pas appui sur le sol par l'utilisation de perches. Deux boulins, parfois maintenus par un système d'équerres (cf: **potelet**, **aisselier**), sont fichés dans les parements et soutiennent une ou deux planches de platelage sur une sablière.
échafaudage de type mixte : système combinant l'échafaudage de pied et l'échafaudage en bascule.
- 21 **écharpe** : "pièce secondaire oblique assemblée sur deux ou plusieurs pièces parallèles pour les réunir" (Inventaire Général 1972, IV, 143, col. 77).
- 22 **entraxe** : distance séparant, sur une même ligne, l'axe d'un boulin de celui du boulin suivant.

- 23 **enture** : fente où l'on place une ente, une greffe. En charpenterie, il s'agit d'un assemblage bout à bout de deux pièces, de la "jonction par entailles de deux pièces de bois mises bout à bout" (Chabat 1875, p. 506).
- 24 **épissure (brêlage)** : système de jonction (aboutement) de deux cordages bout à bout de façon permanente (Mendoza 1992, p. 13) par l'entrelacement de leurs torons (Chabat 1875, p. 509). Elle sert aussi à consolider des cordages endommagés.
- 25 **équerres** : ces confortements charpentés remplacent les perches ; ils sont directement liés aux boulines ancrés dans le mur. Viollet-le-Duc en a donné des représentations trop sophistiquées et conformes à son rationalisme dont il convient de se méfier (**fig. 97C**).
- 26 **étais (chandelle, chevalement, couchis, contrefiche,...)** : grosse pièce de bois pour appuyer, pour soutenir. Il s'agit ici d'une "pièce de charpente disposée en oblique entre une perche et le sol, pour empêcher l'échafaudage de déverser vers l'extérieur" (Ginouvés 1985, p. 117 et Viollet-Le-Duc, vol. 4, p. 283). Il reprend des charges qui lui sont apportées, en jouant un rôle de stabilisateur par contrebutement.
- 27 **étrésillon** : (**fig. 2**).
- 28 **fermette** : "petite ferme, ou partie supérieure d'une ferme à jambes-de-force" (Inventaire Général 1972, col. 68).
- 29 **fourreau** : gaine ou voie artificielle maçonnée et aménagée horizontalement dans le blocage du mur dans lequel le boulin est glissé. Sa dimension est supérieure à la section du boulin afin de pouvoir introduire, puis retirer celui-ci en vue de son remplacement éventuel.
- 30 **flèche** : "la flèche d'une poutre est l'écart maximal qui apparaît entre sa position horizontale au repos et la position qu'elle prend en fléchissant sous une charge" (Fonquernie 1989, p. 161).
- 31 **filière** : pièce horizontale qui liaisonne les embases entre-elles pour constituer la base de l'échafaudage.
- 32 **gaston** : (**fig. 2**).
- 33 **grume** : (**fig. 2**).
- 34 **hauban** : gros et long filin qui s'attache à une pièce (perche) pour la fixer au sol.
- 35 **libage** : puissante structure maçonnée, faisant office de fondation aux grandes arcades, qui transforme les forces verticales en forces horizontales et comprime les sols en surface afin d'éviter tout mouvement de remontée lors de la pose des piles.
- 36 **lien** : "petite pièce droite ou courbe placée obliquement dans l'angle de deux autres pièces (**potelet, boulin**) pour affermir cet angle par triangulation" (Inventaire Général 1972, col. 77). "Il maintient le boulin à son extrémité extérieure" (Ginouvés 1985, p.118). Les plus courants sont doubles et disposés en croix de Saint-André.
- 37 **ligature** : (**fig. 2**).
- 38 **limousinage** : "maçonnerie de moellons hourdés au plâtre et au mortier et dressée au cordeau avec parements bruts. Les ouvriers (originaires du Limousin) employés à cette sorte d'ouvrage sont appelés *limousins*" (Chabat 1875, p. 789). "A Paris,... nos *Limousins* déploient une habileté singulière dans la combinaison de ces légers échafaudages composés de brins de bois qui n'ont guère que 0,10 m de diamètre en moyenne" (Viollet-le-Duc, t. 5, p. 106).

- 39 **limousin** : par extension, ce terme de la région parisienne, désigne de "petits cordages qui servent à fixer ensemble les perches aboutées (Chabat 1875, p. 231). Il est appelé *chablot* dans le Nord. Il est terminé par une surliure pour empêcher les cordages de s'effiloche, ou un oeil épissé qui forme une boucle fermée permanente.
- 40 **madrier** : du latin populaire *materium*, ou du latin classique *materia* (bois de construction) remonte au XVIe s. (Petit Robert). Pièce de bois de sapin longue de 3,67 m à 3,90 m, large de 0,33 m. épaisse de 0,054 à 0,061 m (Chabat 1875, p. 808).
- 41 **moise (lisse, longeron, longrine, tendière, traverse,..) : (fig. 2).**
- 42 **moment fléchissant** : "en mécanique, le moment fléchissant d'un couple de forces est le produit de l'intensité commune des deux forces, multipliée par la distance qui les sépare. Une poutre, sur deux appuis, soumise à une charge, subit un moment fléchissant" (Fonquernie 1989, p. 163).
- 43 **perche (baliveau, écoperche, échasse, montant, pointier, poteau) : (fig. 2).**
- 44 **plan incliné** : "plancher disposé obliquement, et comportant normalement des barres transversales clouées sur son plan supérieur, pour éviter les glissades" (Ginouvés 1985, p. 118).
- 45 **platelage (plat-bord, plateau, plancher) : (fig. 2).**
- 46 **potelet (échasse, jambette...)** : pièce de bois verticale, appuyée contre le mur, "reliant la partie arrière du boulin tout contre la paroi de la construction, avec la partie inférieure du lien, et formant ainsi avec eux un triangle rigide "soutenant le platelage d'un échafaudage en bascule, en reportant contre la paroi le poids de celui-ci" (Ginouvés 1985, p. 118) **(fig. 97B).**
- 47 **raguage** : usure d'un cordage sous l'effet du frottement (Mendoza 1992, p. 11).
- 48 **rousture** : amarrage servant à assembler plusieurs pièces de bois (Mendoza 1992, p. 11).
- 49 **sapine** : élément d'échafaudage ne servant uniquement qu'au montage des matériaux. Elle est généralement munie d'un engin de levage.
- 50 **socle (embase, sole...)** : partie plate posée sur le sol sur laquelle reposent les éléments verticaux.
- 51 **sonnette** : mouton (masse inerte que l'on laisse tomber) monté sur une chèvre, servant à enfoncer des pieux ou des pilotis.
- 52 **spire** : tour de cordage autour des bois lors de la confection de ligature.
- 53 **spiter** : néologisme formé sur SPIT (marque déposée), couramment employé sur les chantiers pour désigner un assemblage à cheville expansive perdue dans un trou percé au pistolet ou à la perceuse.
- 54 **stéréotomie** : « elle ne concerne que les formes (pierre ou bois) obtenues par une application de la géométrie descriptive et non par la géométrie plane, aussi complexe soit-elle. Son champ d'application ne s'étend qu'à l'époque moderne » (J.-C. Bessac).
- 55 **surliure** : ligature bien serrée qui s'enroule autour des **torons** (assemblages par torsion d'un certain nombre de fils formant une corde) pour éviter que les extrémités ne se défassent en se détordant (**décommettre**) et ne s'effilochent. La longueur d'une surliure doit être à peu près égale au diamètre du cordage auquel elle est assujettie (Mendoza 1992, p. 12).

- 56 **tour mort** : double passage d'un cordage autour de son point d'amarrage (Mendoza 1992. p. 11). Il évite le frottement et le glissement du noeud.
- 57 **tréteau (chevalet,...)** : "assemblage de pièces de bois comprenant chaque fois une pièce horizontale portante montée sur deux ensembles de pièces obliques en triangle" (Ginouvés 1985, p. 118).
- 58 **trou de boulin** : "cavité pratiquée dans la pierre ou la maçonnerie, servant au scellement de pièces de bois (boulins)" (Inventaire Général 1972, col. 60, Chabat 1875, p. 1417)
- 59 **trou de boulin façonné** : en raison de la plus grande hauteur d'assise du moyen appareil, les trous de boulin sont soit une échancrure taillée dans l'un des quatre angles de la pierre, en réutilisant deux joints perpendiculaires, à droite ou à gauche du bloc, soit, plus rarement, une échancrure taillée au centre de l'arête inférieure du parement du bloc, en réutilisant un joint horizontal du lit de pose.
- 60 **trou de boulin maçonné** : dans le petit appareil (moellons, galets...), l'ouverture peut être aménagée à la demande par l'empilement de petits moellons cassés sur deux assises. Systématiquement, le plus grand soin a été porté au choix et au montage du linteau, alors que l'appui inférieur reste négligé.
- 61 **trou de boulin en réserve** : dans le moyen appareil, ou dans les élévations à un seul parement (parpaing), l'ouverture est une réserve aménagée par la suppression d'un moellon dans l'assise du mur. Le module du bloc faisant toute l'épaisseur, il n'y a pas besoin de montants, linteau, appui...
- 62 **trou traversant** : le boulin traverse le mur de part en part en reliant ainsi des parements dont l'assise et l'appareil même peuvent différer.
- 63 **trou borgne** : s'il n'est pas traversant, le trou de boulin est dit borgne.
- 64 **unité de développement** : il faut entendre par unité de développement un parement d'un seul tenant correspondant, dans l'organisation du chantier, à une unité de construction, c'est-à-dire un ensemble desservi par un échafaudage unique et où opère une équipe d'ouvriers du bâtiment. La largeur de ces éléments d'architecture est pratiquement déterminée par les éléments qui la bornent, le plus souvent des contreforts, des supports engagés ou des angles de la maçonnerie.
- 65 **vérinage** : pose d'un vérin (machine à soulever, formée d'une vis sans fin et d'un écrou) dans les ouvertures pour maintenir un échafaudage.

97- Construction de la tour de Babel (détail), voir fig. 65



Bibliographie

Adam 1977 : ADAM (J.-P.). - Le chantier antique. *Les dossiers de l'Archéologie*, n° 25, nov. déc. 1977, pp. 11-18, l'échafaudage pp. 26-29.

Adam 1984 : ADAM (J.-P.). - *La construction romaine, matériau et techniques*. Picard, Paris, 1984, pp. 89-90.

Allymes 1995 : Catalogue de l'exposition : *Construire un château au Moyen Âge (d'après les comptes de construction des châtelainies) et le restaurer aujourd'hui*. Château des Allymes, Ambérieu (Ain), 11 juillet-11 Novembre 1995.

Barberet 1889 : BARBERET (J.). - *Le travail en France*. Monographies professionnelles, Berger-Levrault et Cie, Paris, 1899-1890, t. V - Couvreurs, pp. 460-463.

Barberot 1952 : BARBEROT (E.). - *Traité Pratique de charpente*. le édit. 1911, 2e édit. aug. par L. Griveaud, 1395 dessins, Paris, Liège, Librairie Polytechnique Ch. Béranger, 1952. pp. 337-352.

Barrai I Altet 1983, 1987, 1990 : BARRAL I ALTET (X.). - *Artistes, artisans et production artistique au Moyen Âge*. Vol. I - *Les hommes*, 1983, vol. II - *Commande et travail*, 1987, vol. III - *Fabrication et consommation de l'oeuvre*, 1990. Actes du colloque international, C.N.R.S., Université de Rennes II. 2-6 Mai 1983, Picard, Paris, 1983, 1987, 1990.

Baud 1996 : BAUD (A.). - Le chantier de la troisième église abbatiale. *Cahiers du musée d'Art et d'Archéologie de Cluny*, n° 1, juin 1996, pp. 12 à 15.

Bechmann 1984 : BECHMANN (R.). - *Les racines des cathédrales*, Paris, 1984.

Bechmann 1991 : BECHMANN (R.).-*Villard de Honnecourt : la pensée technique au XIIIe s. et sa communication* Picard, 1991.

Bernardi 1995 : BERNARDI (Ph.). - *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, Aix-en-Provence, 1995.

Bessac 1986 : BESSAC (J.-Cl.). - L'outillage traditionnel du tailleur de pierre. *Revue Archéologique de Narbonnaise*, suppl. 14, Ed. du C.N.R.S. diff. Bocard. Paris, 1986.

Bessac 1987 : BESSAC (J.-Cl.). - Outillage pour tailler la pierre. Typologie et chronologie sommaire. *Pierres en Provence*, Centre National des Lettres, A.C.E.P., Sénanque, Edisud, Aix-en-Provence, 1987, pp. 106-112.

Binding 1972 a : BINDING (G.) édit. - *Romanischer Baubetrieb in zeitgenössischen Darstellungen*, Cologne, 1972.

- Binding 1972 b : catalogue de l'exposition :** BINDING (G.). - Die gotische Bauhütte, Rhein und Maas. Kunst und Kultur 8001400, Cologne, 1972.
- Binding 1978 :** BINDING (G.) et NUSSBAUM (N.). - Der mittelalterliche Baubetrieb nordlich der Alpen in zeitgenössischen Darstellungen, Darmstadt, 1978.
- Binding 1985 : catalogue d'exposition :** BINDING (G.). - Baumeister und Handwerker im Baubetrieb, *Ornamenta Ecclesiae. Kunst und Künstler der Romanik*, 3 vols, Cologne, 1985.
- Binding 1986 : catalogue de l'exposition :** BINDING (G.). - Von der Idee zur Gestalt - Bauten im Werden, *Der Traum vom Raum. Gemalte Architektur aus 7 Jahrhunderten*, Nuremberg du 13-9 au 23-11-1986, Marbourg, 1986.
- Binding 1987,1992 :** BINDING (G.) édit.. - *Der mittelalterliche Baubetrieb Westeuropas. Katalog der zeitgenössischen Darstellungen*, t-1, Cologne, 1987, t-2, Cologne, 1992.
- Binding 1990 :** BINDING (G.) ouvrage collectif. - Der Baubetrieb in der nordeuropäischen Stadt 1150 bis 1250, *Stadtbaukunst im Mittelalter*, Berlin (ex Berlin Est), s.d. (1990).
- Binding 1993 :** BINDING (G.). - *Baubetrieb im Mittelalter*, Darmstadt, 1993.
- Bur 1991 :** BUR (M.). - *Suger, abbé de Saint-Denis, régent de France*, Paris, 1991.
- Cange 1840-1850 :** CANGE (Ch. du). - *Glossarium mediae et infimae latinitatis*. Paris, réed. 1840-1850.
- Cattin 1990 :** CATTIN (P.). - La construction d'un château au XIVe s. : Château-Gaillard (Ain). *Cahiers René de Lucinge*, quatrième série, n° 26, de Boccard, Paris, 1990.
- Cattin 1992 :** CATTIN (P.). - Le château et le pont de Pont-d'Ain au début du XIVe s., d'après les comptes de la châtelainie. *Cahiers René de Lucinge*, quatrième série, n° 27, de Boccard. Paris, 1992.
- Cattin 1993 :** CATTIN (P.). - Le château et le pont de Pont-d'Ain au début du XIVe s., d'après les comptes de la châtelainie. *Cahiers René de Lucinge*, quatrième série, n° 28, de Boccard, Paris, 1993.
- Cattin 1995 :** CATTIN (P.). - Le château de Saint-Rambert (Ain) au début du XIVe s., d'après les comptes de la châtelainie. *Cahiers René de Lucinge*, quatrième série, n° 30. de Boccard, Paris, 1995.
- Cavana 1983 :** Cavanna (F.). - *Les yeux plus grands que le ventre*, 1983.
- Chabat 1875 :** CHABAT (P.). - *Dictionnaire des termes employés dans la construction*. Paris, Vve A. Morel et Cie, 1875, 2° édit. 1881, 4 vol in 8, une réédit. 1895. échafaud, échafaudage pp. 447-451.
- Choisy 1872 :** CHOISY (A.). - *L'art de bâtir chez les Romains*. Paris, Béranger, 1872, p. 25.
- Coldstream 1992 :** COLDSTREAM (N.). - *Les artisans du Moyen Âge. Les maçons et sculpteurs*. Edit, française - Brépols, s.l, 1992, édit originale *Medieval Craftsmen. Masons and Sculptors*, Londres, 1991.
- Coppel 1963 :** COPPEL (Th.). - *Echafaudages tubulaires, théorie et pratique*. Paris, Dunod, 1963.
- Coppola 1991 :** COPPOLA (G.). - L'échafaudage au Moyen Âge. *Archéologia*, n° 274, Décembre 1991, pp. 34-41.
- Cordeau :** CORDEAU (A. L.). - Préparation de la construction : Maçonneries, marbrerie, ciments armés. In : MIGNARD (R.). - *Guide des constructeurs, traité complet des connaissances relatives aux constructions*. Librairie Centrale des Beaux arts, E. Levy édit., Paris, s.d.
- Costantini 1993 :** Costantini (F.). - *Le chantier de l'abbatiale Saint-Robert de la Chaise-Dieu au XIVe s.* Doctorat de l'Université Paris IV Sorbonne, 1993.
- Craplet 1978 :** CRAPLET (B.). - *Auvergne romane*. Coll. Zodiaque, 5e édit., La-Pierre-qui-Vire, 1978.
- Dautrey 1994 :** DAUTREY (Ph.). - L'espace des comptes de construction des Bernardins de Paris. *Histoire et Mesure*, 1994, IX, pp. 67-89.
- Diderot, Alembert 1751-1780 :** DIDEROT (D.) et ALEMBERT (J. Le Rond D'). - *Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des Sciences, des Arts et des Métiers*. Paris, Briasson, 1751-1780, 21 vol. d'articles et 12 vol. de planches. - *L'Art de la charpenterie, Recueil de planches sur les Sciences, les Arts Libéraux et les Arts Mécaniques avec leur explication*, Inter-Livres, Grimbergen, s.d.

Delataille 1979 : DELATAILLE (E.) - *Art du Trait Pratique de charpente*, Gibert - Clarey Imp. Edit., Tours, 1848, Réedit. 1979. - 3e partie : escaliers en tous genres, ponts en pierre et en bois, passerelles, cintres pour des voûtes de toutes sortes, et pour tous les genres de construction.

Devillette 1995 : DEVILLETTE (A.). - C'était le temps des maçons de la Creuse.... *Restaurer sa maison*, n° 12, mars-Avril 1995, pp. 50-52.

Dhanens 1980 : DHANENS (E.). - *Hubert et Jan van Eyck*, s.l.n.d. (Anvers, 1980)

Colombier 1973 : COLOMBIER (P. du). - *Les chantiers des cathédrales, ouvriers, architectes, sculpteurs*. Picard, Paris, 1953, réedit. 1973.

Emy 1841 : EMY (A. R.). - *Traité de l'art de la charpenterie*. Paris, Anselin, Carilian-Goury, 1841, 730 p.

Emy 1869 : EMY (A. R.). - *Traité de l'art de la charpenterie*. Deuxième édit. suivie d'*éléments de charpenterie métallique*, et précédée d'une notice sur l'*Exposition Universelle de 1867 (Section des bois)* par L. A. Barre. Paris, Dunod, 1869-1870, t-1 : XLIII, 575 p. t-2 : XVI, 727 p., voir : pp. 348-364, Pl. 123 à 128.

Encyclopédie des Compagnons du Devoir 1983 - *Encyclopédie des Métiers - L'art du couvreur*. Paris, Librairie du Compagnonnage, 1983. t-II, pp. 57-138 : Histoire de l'échafaudage des Egyptiens à nos jours.

Encyclopédie des Compagnons du Devoir - *Encyclopédie des Métiers - Echafaudages et les étalements*. Paris, Librairie du Compagnonnage.

Encyclopédie Panckoucke 1789 - *Encyclopédie méthodique ou par Ordre de matières*. Par une Société de gens de Lettres, de Savants et d'Artistes. Panckoucke, Paris, 1789, t-IV ; Pl. 1, 3, 4.

Encyclopédie Quillet 1953 - *Encyclopédie pratique du bâtiment*. Paris, Quillet, 1953. t-II, pp. 707 à 722.

Encyclopédie Roret 1988 : BISTON, HANUS, BOUTEREAU et GAUCHE. - *Nouveau manuel complet du charpentier ou traité élémentaire et pratique de cet art*. Inter-Livres, Presses Bretonniennes, réédition 1988. Ch. XIII : échafaudages et étais, pp. 269-272 ; ch. XX : échafaudages fixes, pp. 324-330 ; ch. XXI : appareils de levage, pp. 331-338.

Ensergueix 1995 : ENSERGUEIX-LUTHEREAU (N.). - *Recherches sur l'iconographie du chantier de construction du XIe au XVe s.* Thèse, ss. la dir. de Ph. Braunstein. Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris, février 1995.

Erlande-Brandenburg 1993 : ERLANDE-BRANDENBURG (A.). - *Quand les cathédrales étaient peintes*. Collection "découvertes Gallimard", Paris, 1993.

Euw 1979 : EUW (A. V.), et PLOTZEK (J. M.). - *Die Handschriften der Sammlung Ludwig*. 4 vols., Cologne, 1979.

Expo Paris 1900 - *L'exposition de Paris de 1900*. publiée avec la collaboration d'Ecrivains spéciaux et des meilleurs artistes, Paris, Montgredien et Cie, s.d, pp. 31, 144, 168, 158.

Favre 1872 : FABRE (V.). - *Théorie des charpentes donnant des règles pratiques pour la construction des fermes et autres appareils en bois ou en fer*. Paris, Eug. Lacroix, 1872.

Fitchen 1961 : FITCHEN (J.). - *The construction of gothic cathedrals. A study of medieval vault erection*. The University of Chicago Press, Chicago - London, 1961.

Fonquernie 1989 : FONQUERNIE (A.). - *Techniques actuelles de fondations : de l'avant-projet à l'exécution, guide à l'usage des archéologues*. Centre National d'Archéologie Urbaine Mediarch, Tours, 1989.

Fontana 1743 : FONTANA. - *Consignationes ac partes Nicolai Zabaglia, cum ejusdem ingeniosis praxibus, ac descriptione translationis obelisci Vaticanani*. Rome, 1743, in. fol. avec 54 pl. Recueil des machines

construites par Zabaglia, mécanicien, charpentier et architecte de la coupole de Saint-Pierre de Rome.

Forsyth 1953 : FORSYTH (G.-H.). - *The Church of St.-Martin at Angers*. Princeton, 2 vol., 1953.

Franklin 1906 : FRANKLIN (A.). - *Dictionnaire historique des Arts. Métiers et Professions exercés à Paris depuis le XIIIe s.*, Paris, Welter, 1906.

Galluzzi 1995 : GALLUZZI (P.). - *Les Ingénieurs de la Renaissance, de Brunelleschi à Léonard de Vinci*. Paris, Cité des Sciences et de l'Industrie, 14 novembre 1995 - 31 mai 1996, Giunti Industrie Grafische, Florence, 1995.

Gasc 1957 : GASC (Y.). - *Les échafaudages et l'outillage de chantier*. Paris, Eyrolles, 1957.

Gimpel 1969 : GIMPEL (J.). - *Les bâtisseurs de cathédrales*. Le temps qui court. Edit, du Seuil, Paris, 1969. Bourges, 1976, et nouvelle édit. Paris 1980.

Ginouvés 1985 : GINOUVES (R.) et MARTIN (R.). - *Dictionnaire méthodique de l'architecture grecque et romaine, t-I, Matériaux, techniques de construction, techniques et formes du décor*. Ecole Française d'Athènes, 1985.

Godefroy 1881-1902 : GODEFROY (F.). - *Dictionnaire de l'ancienne langue française et de tous ses dialectes, du IXe au XVe s.* Paris, 1881-1902.

Golvin 1991 : GOLVIN (J.-Cl.). - Quelques grands principes de la construction pharaonique à la lumière de l'étude des échafaudages antiques égyptiens. *Bulletin des Antiquaires de France*, 1991. pp. 116-135.

Guicherat 1886 : GUICHERAT (J.). - Notice sur plusieurs registres de l'oeuvre de la cathédrale de Troyes. *Mélanges d'Archéologie et d'Histoire*, Paris, 1886.

Guild 1987 : GUILD (R.). - *La cathédrale d'Aix-en-Provence, étude archéologique*. Ed. CNRS 1987.

Guillaume 1991 : GUILLAUME (J.). - *Les chantiers de la Renaissance*. Actes des Colloques tenus à Tours en 1983-1984, Université de Tours, Centres d'Etudes Supérieures de la Renaissance. Collection *De architectura*, Picard, 1991.

Haug 1977 : HAUG (W.). - *Das Mosaik von Otranto, Darstellung und Bildokumentation*, Wiesbaden, 1977.

Havard 1890 : HAVARD (H.). - *Dictionnaire de l'ameublement*, Paris, Beranger, vers 1890.

Husa 1967 : HUSA (V.). - *Hommes et métiers dans l'Art*, Paris, Gründ, 1967.

Héliot 1970 : HELIOT (P.), - Passages muraux et coursières dans les églises du nord-est de la France médiévale, de la Lorraine et du Rhin-moyen. *Revue Suisse d'Art et d'Archéologie*, vol. 27, fasc. 1, 1970, pp. 21-43.

Husson 1903 : HUSSON (F.). - *Les maçons et tailleurs de pierre*. Paris, Marchai et Billard, 1903.

Inventaire Général 1972 : Ministère des Affaires Culturelles, Inventaire général des monuments et des richesses artistiques de la France - *Principes d'analyse scientifique : Architecture, Méthode et vocabulaire*. Paris, Impr. Nat. 1972.

James 1977-1982 : JAMES (J.). - *Chartres, les constructeurs*. Société Archéologique d'Eure et Loire, Chartres, 3 vol., 1977-1982.

James 1981 : JAMES (J.). - *Les maîtres constructeurs de Chartres*. Edit. J.-M. Gamier, 1981.

Journal du Compagnonnage 1965 : - Histoire des échafaudages (l'Egypte ancienne), 1965 avril - Histoire des échafaudages (Influence de la Renaissance), 1965, juillet-août - Histoire des échafaudages (Les échafaudages tubulaires), 1965, septembre

Kahn 1982 : KAHN (W.).-*La Bible romane. Chefs d'oeuvre d'enluminure*. Friburg (Suisse), 1982.

Klinckowstroëm 1967 : KLINCKOWSTROEM (C. von.). - *Nouvelle Histoire des Techniques*, traduit de l'Allemand par MARINIE (A.), Paris, Edit, du Sud et Albin Michel, 1967.

Kraft 1805 : KRAFT (J.-CH.). - *Plans, coupes et élévations de diverses productions de l'art de la charpente exécutées tant en France que dans les pays étrangers.* Paris, Levraut, Scoell et Cie, Strasbourg, Levraut et Cie, An XIII. (1805), 25 pp., 203 pl. n° 73 à 77 de la 2^e partie.

Kraft 1819-1822 : KRAFT (J.-CH.). - *Traité sur l'Art de la Charpente Théorique et Pratique.* Paris, F. Didot, 6 vol. 1819, 1820, 1821, 1821, 1821, 1822.

Lacroix 1934 : LACROIX (E.). - *Die mittelalterlichen Baugeriiste.* In: *Deutsche Kunst und Denkmalpflege*, 1934.

Layher s.d. : LAYHER - *Notice de montage et d'utilisation.* 31 p.

Littré 1863-1873 : LITTRÉ (E.). - *Dictionnaire de la langue française.* Paris, 1863-1873

Longnon 1970 : LONGNON (J.) et CAZELLES (R.). - *Les Très Riches Heures de Jean duc de Berry au Musée Condé.* Chantilly, Monrouge, 1970.

Loyau 1873 : LOYAU (A.). - *Album des charpentes en bois renfermant différents types de planchers, pans de bois, combles, échafaudages, ponts provisoires, etc....*, Paris, J. Dejeu et Cie, 1873.

Lucotte 1984 : LUCOTTE. - *L'Art de la maçonnerie (description des Arts et Métiers).* 1783, Slaskine Reprints, Genève, 1984.

Mendoza 1992 : MENDOZA (G.) et COLBUS (J-P.). - *L'album des noeuds.* Fleurus Idées, Paris, 1992.

Moles 1949 : MOLES (A.). - *Histoire des Charpentiers, leurs travaux.* Paris, Gründ, 1949, 405 p., 546 fig.

Mojon 1986 : MOJON (L.). - *Rekonstruktion eines romanischen Gerüstturms, St. Johanssen, Saint-Jean de Cerlier.* Beiträge zum Bauwesen des Mittelalters aus den Bauforschungen in der ehemaligen Benediktinerabtei 1961-1984. Staatlicher Lehrmittelverlag, Bern, 1986, pp. 75-86.

Monod 1890 : MONOD (E.). - *L'Exposition Universelle de 1889.* Paris, Dentu, 1890. t-I, pp. 136, 156, 233.

Mortet 1911 : MORTET (V.). - *Recueils de textes relatifs à l'histoire de l'architecture et à la condition des architectes en France au Moyen-Âge. XIe-XIIIe s.s.* Paris, 1911.

Mortet 1929 : MORTET (V.) et DESCHAMPS (P.). - *Recueils de textes relatifs à l'histoire de l'architecture et à la condition des architectes en France au Moyen-Âge. XIIe-XIIIe s.* Paris, 1929.

Noël 1968 : NOEL (P.). - *Technologie de la pierre de taille. Dictionnaire des termes couramment employés dans l'extraction, l'emploi et la conservation de la pierre de taille.* Paris, Soc. de Diffusion des Techniques du Bâtiment et des Travaux Publics, 2 vol., 1968, in 4°, 374 p.

OPPBTP 1950, 1964, 1993 : Organisme Professionnel de Prévention du Bâtiment et des Travaux Publics. - *La prévention des accidents d'échafaudages*, Paris, 1950. - *Conseils de sécurité à l'usage des ouvriers et apprentis de tous les corps de profession du bâtiment et des travaux publics*, Issy-Les-Moulineaux, 1964. - *Hygiène et sécurité dans les travaux du bâtiment, travaux publics et tout autres travaux concernant les immeubles, Décret du 8 janvier 1965 et textes d'application*, Institut National de Recherche et de Sécurité, Paris, 1993.

Pansier 1927 : PANSIER (P.). - *Histoire de la langue provençale à Avignon du XIIIe au XIX e s.* Avignon, 1927.

Petit Robert 1976 : PETIT ROBERT - *Dictionnaire de la langue française*, édition 1976.

Phleps 1930 : PHLEPS (H.). - *Mittelalterliche Gerüstbauten, Die Denkmalpflege.* Berlin, Wien, 1930.

Planat 1880 : PLANAT (P.). - *L'art de bâtir. Cours de constructions civiles.* 5 vol. in 4°. Paris, Librairie de la construction moderne, vers 1880, vol II, pp. 78-98.

Quicherat 1886 : QUICHERAT (J.) - *Mélanges d'archéologie et d'histoire, mémoires et fragments réunis par Mr Lasteyrie.* Paris, 1886, 2vol.

Recht 1989 : catalogue de l'exposition : RECHT (R.) ss la dir. - L'art gothique : une introduction - Les bâtisseurs des cathédrales gothiques, 3 sept au 26 nov. Edit, les musées de la ville de Strasbourg, Strasbourg, 1989.

Renoux 1991 : RENOUX (A.). - *Fécamp, du palais ducal au palais de Dieu*. Ed. du C.N.R.S., Paris, 1991.

Reveyron 1994 : REVEYRON (N.). - Contribution théorique à l'étude du chantier médiéval. Typologie, structure et implantation du trou de boulin dans son rapport avec l'échafaudage médiéval. *Archéologie du Midi Médiéval*, 1994, t-12, 1995.

Revue générale de l'Architecture et des Travaux Publics 1841, 1842, 1857 - Urgence de prendre à ce sujet des mesures de police, 1841, t. II, p. 392. - Montage d'un échafaudage en 1842, t. III, pp. 145-153. - Echafaudages mécaniques, t. XV, 1857, pp. 129-132, 197, 200, 205.

Riou 1984 : RIOU (Y.-J.) sous la dir..-L'abbaye de Saint-Savin (Vienne), Inventaire général des monuments et des richesses artistiques de la France. *Coll. Images du patrimoine n° 9*, Poitiers, 1984.

Rondelet 1842 : RONDELET (J.). - *Traité théorique et pratique de l'Art de bâtir*. Paris, Firmin Didot, 1842. -t. III du texte, pp. 158-161, Pl. 124 et 125.

Rondelet 1847 : RONDELET (J.). - *Traité théorique et pratique de l'Art de bâtir*. Supp. par BLOUET (G. Abel), 2 t., Paris, Firmin Didot, 1847 et 1848. -t. 1. p. 173 et Pl. 60,-t. 2, p. 153.

Salzman 1967 : SALZMAN (L. F.). - *Building in England down to 1540. A documentary history*, 1952, ed. rev., Oxford, 1971.

Sauze 1994 : SAUZE (E.). - Etat de siège à Pertuis en 1397, *Provence Historique*, t. XLIV, fasc. 176, avril-juin 1994.

Scott 1881 : SCOTT (G.). - *An essay on the History of English Church architecture*. London, 1881.

Schlink 1978 : SCHLINK (W.). - *Saint-Bénigne in Dijon. Untersuchungen zur Abteikirche Wilhelms von Volpiano (962/1031)*. Berlin. 1978.

Stubbs 1965 : STUBBS (W.) édit. - *Gervasius Cantuarensis. Historical Works*. 2 vol., Londres, 1879-1880. rééd. Vaduz, 1965.

Tardieu et alii 1992 : TARDIEU (J.), ZIOLKOWSKI (J.P.), et PIERRE (G.). - Charpenterie, bibliographie, *Revue Dromoise, Les Cahiers de Léoncel*, n° 8, Lumières et ombres sur le XIIIe s., En plaine et en montagne. Mars 1992, pp. 39-41.

Tardieu 1994 : TARDIEU (J.). - L'église abbatiale de Léoncel, L'archéologie monumentale pour une nouvelle lecture des élévations, *Revue Dromoise, Les Cahiers de Léoncel*, n° 10, Léoncel, espace cistercien, Mars 1994, pp. 76-89.

Thatcher 1904 : THATCHER (A.-G.-H.). - *Scaffolding ; A treatise on the design and Erection of Scaffolds, Gantries and Stagings*. London, Batsford, 1904.

Thomas 1990 : THOMAS (M.) et ZINK (M.). - *Girard de Roussillon ou l'épopée de Bourgogne*. Ph. Lebaud édit., 1990.

Vandekerchove 1989 : catalogue de l'exposition : VANDEKERCHOVE (C.). - L'iconographie médiévale de la construction. *Les bâtisseurs des cathédrales gothiques*. Strasbourg, 1989, pp. 61-80.

Van Tyghem 1966 : VAN TYGHEM (F.). - Op en om de Middeleeuwse Bouwwerf, *Verhandelingen van den Koninklijke Vlaamse Académie van Wetenschappen. Letteren en Schone Kunsten van België*, 28, n° 19, Bruxelles, 1966.

Vergnolle 1994 : VERGNOLLE (E.). - *L'art roman en France. Architecture, sculpture, peinture*. Paris, 1994.

Villard de Honnecourt : VILLARD DE HONNECOURT. - *Carnet de...* (XIIIe s.). Introduction et commentaires de ERLANDE-BRANDENBURG (A.), PERNOUD (R.), GIMPEL (J), et BECHMANN (R), Stock, 1986.

Viollet-le-Duc 1854-1868 : VIOLLET-LE-DUC (E.). - *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe s.* Paris, B. Bance et A. Morel, 1854-1868, 10 vol, in 8°.

Crédits illustrations

Dessins

- 1 A. Baud et A. Allimant : fig. 32
G. Binding, voir note 37 : fig. 46, 49, 50, 52, 55, 58 à 69, 72 à 76a, 97
M. Coenen : fig. 79
J. Gonçalvés : fig. 44h
A. Hartmann-Virnich: fig. 25, 26, 29, 54, 82
Ch. Le Barrier: fig. 27, 34, 84b, 89
Gh. Macabeo: fig. 2, 13, 16, 32 (mise au net), 37, 38, 39, 44 (mise au net), 51, 83, 85
I. Parron : fig. 24 et dos de couverture
N. Reveyron : fig. 35
J. Tardieu : fig. 21, 28, 31
Layher (Layher sd) : cul de lampe p.6

Clichés photographiques

- 2 A. Baud : fig. 11, 91, 94
Ch. Delomier-Thiollier : fig. 88
A. Hartmann-Virnich :fig. 1, 30, 53, 76b, 96
Ch. Le Barrier: fig. 4, 12, 33, 77, 81, 84a, 95
V. Negri: fig. 78
I. Parron: fig. 40
J. Tardieu: fig. 3, 20, 21, 22, 23, 31, 36, 86, 92, 93
P. Veysseyre, équipe archéo.de Saint-Romain-en-Gal : fig. 15
- 3 Archives de la CRMH (Rhône-Alpes), cl. Mieusement : fig. 14
Archives de la CNMHS : fig. 7
Bibliothèque Nationale de France : fig. 8, 17, 47, 90
British Library' : By permission of the British Library' : fig. de couverture, fig. 10, 70
Bibliothèque Nationale d'Autriche , Vienne : fig. 41
Bibliothèque municipale de Lyon : fig. 6

Bibliothèque municipale de Toulouse : fig. 71

Dagli-Orti (Agence) : fig. 43

Koninklijk Museum voor schone Kunsten, Anvers (Belgique) : fig. 48

Musée de l'Escorial, Madrid (Espagne) : fig. 80

Inventaire général, A. Maulny : fig. 45

Württembergische Landesbibliothek, Stuttgart : fig. 18