

N° 1620 8

AGROPARISTECH
NANCY
Bibliothèque

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
INSTITUT D'HISTOIRE MODERNE ET CONTEMPORAINE

Textes réunis et présentés
par Andrée CORVOL

LES MATÉRIAUX DE LA VILLE : DU BOIS AU BÉTON ?



Cahier d'Études n° 8 – 1998
Forêt, Environnement et Société
XVI°-XX° siècle

Avec le concours
de l'Office National des Forêts
2 avenue de Saint-Mandé
75570-PARIS cedex 12

ÉCOLE NATIONALE DU GÉNIE RURAL
DES EAUX ET DES FORÊTS
Bibliothèque
NANCY

AGROPARISTECH BIBLIOTHEQUE NANCY

3 3004 00085877 2

Illustration de couverture : René MAGRITTE (1898-1967). *Le Blanc-seing*. Belgique.
Extr. : *La Forêt. Anthologie poétique*. Paris : Éditions du Chêne. Office national des
Forêts, 1997.

N° ISBN : 2-908874-11-3

**CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
INSTITUT D'HISTOIRE MODERNE ET CONTEMPORAINE**

Textes réunis et présentés
par Andrée CORVOL

LES MATÉRIAUX DE LA VILLE : DU BOIS AU BÉTON ?

Cahier d'Études n° 8 – 1998
Forêt, Environnement et Société
XVI°-XX° siècle

Avec le concours
de l'Office National des Forêts
2 avenue de Saint-Mandé
75570-PARIS cedex 12

PRÉFACE

par Andrée CORVOL

On dit les forêts immobiles mais, grâce à Shakespeare et à son Macbeth, on sait que les arbres peuvent marcher ; on sait aussi que cela annonce le pire pour qui repère la translation avant d'engager la bataille... Depuis, ces êtres réputés inertes semblent aimer bouger. On parle ainsi de « la montée en puissance » des forêts françaises (1994 = 23 millions d'hectares, le quart du territoire, le quatrième rang européen) – en oubliant que le phénomène caractérise peu ou prou toutes les nations riches de l'hémisphère nord. On glose sur « le bois qui avance » (1994 = 161 milliards de francs, chiffre d'affaires hors taxes, contre 110 en 1985 et 145 en 1991) – en escamotant l'ampleur des reculades et leur expression sous forme d'emplois et d'entreprises : – 9,4 % et – 9 % de 1991 à 1995. Ces expressions convenues rassurent ? Oui, mais qui ? En 1985, le solde commercial était négatif (16 milliards de francs). Dix ans plus tard, négatif, il l'est toujours, et plus encore (19 milliards de francs) ! Les raisons qui poussent au pessimisme seraient-elles fondées ? En France, 43 % des grumes sont absorbées par la construction : les sciages ou tranchages mobilisent 23 millions des 53 millions de m³ effectivement récoltés. La proportion est moindre en Grèce, en Italie, en Espagne ; supérieure en terre germanique : le bois d'œuvre constitue 90 % de la production prélevée chez les voisins suisses. Voilà un objectif ambitieux pour nos malheureux sylviculteurs, eux qui déclarent proposer de beaux arbres à qui n'en désire pas, les rétribue mal ou les valorise peu.

L'impression est-elle juste ? fausse ? partielle ? Ce n'est pas très comode à départager. Car le « bel arbre » de l'éducateur ne donne peut-être pas du « bon bois » pour le classificateur, ou « bon » le sera moins pour l'utilisateur, même admirablement séché et exempt d'attaques parasitaires. En fin de parcours, c'est toujours le client qui l'emporte puisqu'il désigne la qualité recherchée et indique le prix qu'il accepte de déboursier ; au fournisseur d'agrée ou non cette offre. S'il la décline, il lui faudra patienter jusqu'au retournement de conjoncture, c'est-à-dire jusqu'au moment où les conditions du marché permettront mieux qu'une compensation des efforts fournis. Le choix de l'attentisme est actuellement dominant car, contrairement à l'opinion commune, le matériel vieillit sur pied. Cela signifie que les propriétaires coupent moins que le croît naturel : la récolte annuelle de bois, 53 millions de m³, est inférieure de 39 % à la production biologique de la forêt (74 millions de m³). Reste que cette attitude ne saurait trop persister : des arbres sur le retour procurent souvent de mauvaises surprises une fois abattus ; quant aux arbres de fort calibre, ils récompensent mal de la place prise quand l'adjudicataire ne peut les traiter sur place...

C'est pour éclaircir ces points sans « langue de bois » que la journée du 25 janvier 1997 fut consacrée aux matériaux de la ville. Personne n'ignore la part que le bois occupa dans son édification : les premiers remparts furent des palissades rudimentaires ; le castrum initial usa de simples rondins. Au reste, depuis que l'homme quitta sa caverne où il n'avait pour lumière et pour chauffage que des morceaux de bois, il n'a cessé d'y recourir. Rappelons l'habitat lacustre destiné à le protéger contre les tribus et les bêtes mal intentionnées : les maisons étaient en bois et reposaient sur des plates-formes que surélevaient des pilotis. Mieux, combien de villes ne durent leur existence et leur extension qu'à l'implantation de pieux consolidant un sol fangeux ? De fait, elles ne manquent pas celles qui furent érigées en terres mouvantes. On pense à Venise, un groupe d'îlots au milieu de la lagune ; à Saint-Pétersbourg, des marais de part et d'autre de la Neva. On pense surtout à Amsterdam dans le golfe de l'IJ, en mer du Nord. Le tableau de Jean-Baptiste Bonnecroy (1618-1676) Vue d'Amsterdam (1657-Musée

d'Ixelles, Bruxelles) montre la patiente conquête de la moindre parcelle : la zone, délimitée par plusieurs rangées de piquets, réceptionnait sables et gravats jusqu'au colmatage final, qui séparait enfin l'eau et la terre, l'eau dans le canal, la terre sous la maison.

Tout cela ne remonte point au Déluge. Mais le XIXe siècle a répudié cette méthode pour engendrer ou agrandir la ville. Avec lui, les bâtisseurs d'empire ont fui ces sites chaotiques où l'élément-bois isolait l'eau de la terre ou fortifiait la terre contre l'eau. Quant à l'extension des agglomérations, elle lorgna vers la campagne, transformant les meilleurs champs en faux bourgs, lesquels deviendront banlieues. On continua néanmoins à user du bois. On en consuma même de plus en plus, l'augmentation des bâtisses obéissant à celle des habitants. On utilisa d'ailleurs toute la place disponible : les arrière-cours accueillirent des apprentis et des ateliers ; les façades portèrent des cabinets comme des visages, des verrues ; des étages supplémentaires chapeautèrent immeubles et maisons. Tous ces travaux, densification au niveau du sol et surélévation des charpentes, n'étaient pas très compliqués quand il s'agissait de travailler sur ce mécano qu'est une maison de bois. Et pourtant, dès la seconde moitié du XVIIIe siècle, la mode récusait les carcasses visibles où la subtilité des cloisonnements allait de pair avec la beauté des remplissages ; elle commença même à mépriser les poutres apparentes, n'ayant que faire de l'absence des araignées et de la longueur des portées, deux arguments qui apparaîtront après les années 1930, quand les guides touristiques énuméreront les curiosités des châteaux.

En fait, Louis XV n'était pas mort que ces maisons à pans de bois étaient jugées désuètes. La province prenait la capitale pour modèle tandis que les bourgeois parisiens plagiaient les élites nobiliaires. Du coup, tout le monde n'aspirait plus qu'à l'occupation d'un hôtel particulier, construction lourde où le moëllon sculpté empruntait quelque chose au Louvre et aux Tuileries. Au fil des ans, la demeure en bois sentit de plus en plus la boutique, la marchandise, même en ayant meilleure apparence que cette Maison du Chat qui pelote, chère à Balzac. Il y avait de la bigarrure médiévale dans le guingois des façades et l'avancée des pignons. On avait envie d'un ordre géométrique, d'une stabilité magnifique. Comme peu de citadins avaient la bourse assez garnie pour loger dans un hôtel à la François Mansart (1598-1666), on compensa en associant ligne droite et pierre apparente ; on n'employait pas encore la meulière mais beaucoup la brique, quitte à la déguiser. L'âge néo-classique n'était pas là que l'on manifestait déjà un goût prononcé pour la dissimulation : les architectes camouflaient la structure des nouveaux édifices et étaient priés d'en faire autant chez les anciens. Le temps était venu de crépir l'extérieur et de plâtrer les intérieurs, cachant ainsi aux yeux avertis ce qui fut l'orgueil des artisans. Une fois la perfection des assemblages dérobée à la vue, le métier perdit de son prestige. Le charpentier ne devint pas un tâcheron, certes, mais fut subordonné à l'architecte, l'homme qui maîtrisait les chiffres, le calcul trigonométrique, le compas et le rapporteur, la géométrie dans l'espace.

À dire vrai, cette évolution n'eut pas lieu sur un seul règne. Elle fut très progressive, inégale selon la nature du quartier et la classe des habitants. Dans la plupart des cas, le souci de protéger l'intérieur précéda celui d'embellir l'extérieur. En agissant ainsi, on appliquait à la façade le traitement préconisé pour les plafonds. Au début, leur plâtrage répondait à un besoin de sécurité, réduire l'inflammabilité. Et puis, cet impératif généra une esthétique : on trouvait tristes ou sales les bois gris pâle s'ils étaient de chêne nu, brun soutenu s'ils étaient frottés au brou de noix. Il n'était plus alors question de préservation mais de perception : on n'aime décidément pas le naturel qui fait pauvre quand on veut être cossu. Pour satisfaire à l'apparence, deux solutions, pas trente six. L'ensevelissement des tenons et des mortaises, poutres maîtresses incluses, grâce au coffrage en panneaux peints ou à l'enrobage en stuc décoré. L'abaissement des hauteurs, grâce au faux plafond, illusion due au tissu tendu sur cadre externe ou froncé sur cercle

central. Et puis, vint la fabrication des contre-plaqués, à l'avant-veille de 1914-1918. Tout change : les bois du nord arrivent, le papier de chiffon régresse... Naguère, on supportait les murs bruts – quelques tapisseries les réchauffaient. Maintenant, on les décrirait comme spartiates : on a le goût coquet et frileux, d'où la vogue des tissus d'ameublement et des papiers peints, nouveautés au XVIIIe siècle finissant qui reflétaient l'ampleur des innovations techniques tant dans le tissage des étoffes que dans les procédés d'impression.

Le désir d'avoir des couleurs claires et chatoyantes, effet secondaire de l'éirement des fenêtres, rejaillissait sur la palette des bois : on les préférait dans une nuance blonde ou rouge et, quand ils ne l'avaient pas, on n'hésitait plus à les peindre, vert d'eau, gris-bleu ou jaune paille, ce qui procura aux descendants du XXe siècle le plaisir de décaper portes et lambris ! Ce n'est point là question de détail : de l'époque des Lumières jusqu'au second XXe siècle, la part du bois a continûment progressé dans les aménagements intérieurs, eu égard à la sophistication des huisseries. C'est donc à l'apogée de l'utilisation Bois qu'apparut la concurrence Métal. Cette donnée n'avait jamais été perçue comme menace. La construction traditionnelle n'avait-elle pas recours au métal afin, notamment, de fortifier les liaisons, multipliées en raison de la rareté et de la cherté des bois longs ? On prévenait ainsi l'écroulement de l'ensemble, accident fréquent, cependant, eu égard aux devis d'estimation et actes de délivrance qui encombrèrent les archives des Maîtrises particulières, chargées de sélectionner les arbres utiles au rétablissement des bâtiments publics, presbytères, églises, écoles, lavoirs ou marchés. Rappelons qu'il était prudent de renforcer de plaques métalliques les parties cadranées d'une pièce essentielle, employée malgré cet inquiétant symptôme. On ne saurait être trop exigeant en matière de qualité quand les quatre-cinquièmes de la récolte ligneuse sont des bois de feu...

La nouveauté ne résidait donc pas dans la mixité de l'emploi mais dans le fait que les établissements vantés pour l'audace de leur conception présentaient une structure métallique, fonte ou fer. Évidemment, dans les maisons « tradi », immeubles de rapport, hôtels de maître ou demeures ordinaires, le bois était toujours là, assises et charpentes. Mais aux expositions universelles, dans les revues professionnelles et dans les grandes écoles, le vent avait tourné en faveur du métal. Fin de Siècle, alors que la production sidérurgique des grandes puissances devenait l'élément clé de leur classement économique, comment la fonte, le fer, l'acier ne seraient-ils pas envisagés comme matériaux de l'avenir ? Et puis, eux, ils ne brûlaient pas ! L'argument circule depuis la seconde moitié du XVIIIe siècle. Il prit de l'importance avec l'émergence d'un nouveau type de bâtiment, celui qui accueille une foule de visiteurs, spectateurs et consommateurs, théâtres et ateliers, halls de gare et hangars d'exposition, magasins de variétés, style Printemps, et magasins d'épicerie, genre Félix Potin : les dégagements sont considérables ; les portées, immenses ; la lumière doit être zénithale, la circulation, optimum. L'alliance du métal et du verre autorisait tout cela. On n'aborda guère avant les années 1960 le problème de la dilatation des poutrelles sous l'effet du feu. On pleura ainsi vingt enfants, assommés, asphyxiés et brûlés lors de l'incendie d'un établissement scolaire, un de ces « CES Pailleron » (1973). On a donc vécu plus d'un siècle durant sur l'impression que la charpente métallique était un facteur anti-incendie. Pourquoi ? Parce que les médias de l'époque insistaient sur la rapide combustion des « charpent-balloons », technique adaptée aux zones pionnières où la main d'œuvre, peu qualifiée, construit vite avec des planches, des clous et un marteau. Parce qu'elles décrivaient sous un jour dramatique les incendies qui ravageaient les très jeunes peuplements de Sologne et des Landes, leur faible valeur intrinsèque n'ayant pas encore suscité le système de protection qui facilita ensuite la détection des premières fumées et l'extinction des flammes. La conversion bois-fer, la Marine l'avait déjà inaugurée, moins pour conjurer

le risque des incendies qui font sauter la sainte-barbe, l'équipage et le navire avec, que pour résoudre ce casse-tête qu'est l'obtention de pièces courbes pour la confection des coques. A preuve, la Seconde Guerre verra des navires au lourd blindage dotés de ponts et d'entre-ponts en bois...

La construction de vastes bâtiments aux lourdes contraintes a rodé les architectes, leur permettant de dépasser le stade de l'expérimentation. Ils auraient voulu que cette technologie au service de la collectivité séduisît les particuliers. Mais là ils découvrirent la pusillanimité des commanditaires : rares furent les gens fortunés prêts à habiter une maison originale et à affronter les commentaires malveillants. Les occupants avaient toutes les chances d'être qualifiés d'esprits prétentieux ou d'hommes parvenus. Aussi plus d'un jeune architecte dut-il convaincre ses futurs clients en édifiant pour lui-même, pour un parent ou pour un ami une « maison témoin », cas de Henri Van de Velde avec les Rysselbergue ou de Victor Horta avec les Tassel. Les réactions ne furent pas toujours conformes aux espérances, ce qu'exprime fort bien l'auteur John Galsworthy (1867-1933) dans la Saga des Forsyte (1905), au travers des déboires de Bosinney, confronté à Forsyte, excellent juriste et collectionneur avisé, lequel coupa vite les ailes au débutant épinglé pour avant-gardisme ! Aussi, quand un investisseur osa l'opération, fixa-t-il souvent les bornes à ne pas dépasser : la nouvelle bâtisse ne devait pas brouiller les repères habituels. Du coup, elle épousa la forme qui dominait dans un quartier, ce qui obligeait son créateur à camoufler les innovations les plus remarquables. Au long du boulevard des Italiens, certains immeubles dits hausmaniens ont des charpentes, des carcasses en métal, mais la plupart ne diffèrent pas de leurs semblables. On imagine mal les ricanements que déclenchèrent les anti-conformistes en modifiant la pente du toit, l'allure de la façade ; pire, en exhibant ce que la bienséance commandait de dissimuler. A Paris, sur le plateau Beaubourg, le Centre Georges Pompidou choqua surtout du fait des conduits d'aération et de chauffage qui ornaient la façade principale au lieu de trouver refuge dans les parois de salle. Idem en haute couture, devant des vêtements sans doublure, des coutures à l'endroit et des bas sans ourlet !

La majorité des gens critiqua ce musée conçu dans les Sixties ? Leurs ancêtres avaient eu les mêmes réticences en face de l'Art Nouveau ! Ses initiateurs avaient pourtant décoré de volutes et de spirales le support mis en évidence. Ils furent considérés comme des maniaques du végétal, en usant et en abusant sur les tissus d'ameublement comme sur la pierre des façades. Pire, avec eux, le végétal en folie envahissait l'intimité du foyer, colonisant la robe des dames et les dessus de table ! Cet Art posait le principe d'une approche globale. Beaucoup le détestèrent pour son aspect systématique. Ils en eurent une indigestion avant même de l'avoir goûté ! Cette période sonna la fin du monopole que le bois eut dans la construction : architecture syncrétique ; association de matériaux ; apparition, bientôt, de matériaux composites, produit nouveau mariant des vertus jusque-là isolées. Cela ne signifiait pas que le bois, massif ou non, était désormais cantonné aux emplois de restauration, aux murs lambrissés et aux bibliothèques évocatrices d'un monde disparu où la détention de livres indiquait la position sociale. Ces dernières années, le primat conféré à la lumière, qui favorisa outrageusement une architecture de cubes et de parallélépipèdes dont un côté serait vitré, paraît battu en brèche : on module en alternant zones de clarté et espaces d'ombre, on redécouvre les vertus du halo qui aide à concentrer la pensée, qui symbolise la méditation du penseur. Est-ce la fin de ces mécanos colossaux, bâtis à la va-vite après guerre ? On reconnaît aujourd'hui que ces barres et ces tours ne sont « humanisables » que par le recours d'arbres peints ou d'espaces verts, par l'ajout de courbes colorées, sinuant à même la façade ou sous forme de balcons tubulaires plaqués.

L'audace est maintenant, peut-être, chez ceux qui intègrent un matériau dû à la seule nature. La forêt travaille en silence : elle ne puise pas dans les réserves plané-

taires ; elle stocke sous forme solide ce gaz carbonique libéré par la destruction des énergies fossiles. Encore faudrait-il que la forêt française et européenne puisse répondre à la demande. Au XIXe siècle, quand la houille évinça bûches et charbons, on eut des bois taillis à ne savoir qu'en faire, alors qu'on manquait cruellement de grumes sans défaut. C'était une époque de bouleversement pour les entreprises œuvrant à la première transformation : l'usinage des grumes exigeait des produits normalisés, une préoccupation ignorée lorsque le coup de main rattrapait les irrégularités de la nature. Mais, en sylviculture, les virages ne sont pas négociables du jour au lendemain. Il y faut du temps et de l'argent. On retroussa ses manches. On convertit les taillis composés en futaiës régulières. On admire aujourd'hui les résultats. Comme ils seraient contents, les bâtisseurs de cathédrales ! Reste à savoir si le XXe siècle en fournissant ce que le XIXe siècle sollicitait, comblera les vœux du prochain millénaire. N'est-on pas déjà dans une époque duale où les catégories intermédiaires sont laminées ? On réclamera des quantités limitées de bois « haut de gamme » et d'énormes quantités de bois voué à la reconstitution. Ces volumes, les sylviculteurs français sauront-ils les produire à un tarif raisonnable ou la promotion immobilière suivra-t-elle l'industrie papetière qui prospecte là où le profit est juteux, la mobilisation des bois donnant des lots homogènes, transportés sans difficulté ? L'enjeu est de taille. Pari gagné ou perdu : selon le cas, forêt rentable ou forêt abandonnée. Qui réglera alors la facture de son entretien ? Le contribuable !

La prochaine journée d'Études se tiendra à Paris, le samedi 31 janvier 1998. Elle aura pour thème « L'aménagement des intérieurs citadins : la part du bois ». Elle sera précédée la veille par l'Assemblée générale du G.H.F.F. à 17 h 30.

PREMIÈRE PARTIE

**LE BOIS-MATÉRIAU :
CARACTÈRES ET HISTOIRE**

LE BOIS. UN MATÉRIAU DE TOUS LES AGES, TOUJOURS PERFORMANT

par Jean-Michel LEBAN, Laurent SAINT-ANDRÉ
et Pascal TRIBOULOT

Le bois est un matériau qui évoque plus que tout autre le temps et l'âge. En effet, la production du matériau est assurée par le développement des arbres qui deviennent récoltables après une période variant selon l'espèce, le lieu, les conditions de croissance et la destination finale des produits. Par ailleurs, le matériau-bois est sans doute celui qui est utilisé par l'homme depuis plus longtemps. Parmi ses propriétés, il est probable que c'est sa qualité de combustible qui le fit d'abord utiliser. Les charbons de bois mis à jour dans les foyers analysés par les archéologues constituent un matériau essentiel pour caractériser les essences forestières exploitées par les populations des différentes périodes historiques étudiées. Le coût énergétique de transformation du matériau est particulièrement faible (il suffit de tailler) par comparaison à l'élaboration des métaux ou à l'exploitation des minéraux. C'est pour cette raison que ce matériau fut très tôt mis en œuvre par l'homme, pour se défendre, pour chasser ou pour s'abriter. Cependant, le caractère peu durable du matériau, à l'échelle de l'humanité, explique que les vestiges d'objets en bois soient peu nombreux. Aussi les historiens n'ont-ils pas défini une période qui aurait été l'âge du bois, à moins que cet âge soit à venir, tant la nécessité de matériaux renouvelables est ressentie par un monde qui a découvert que les ressources naturelles étaient limitées.

I - PARTICULARITÉS BIOLOGIQUES

Il y a dans le monde plus de 30 000 espèces qui produisent du bois. Parmi celles-ci, 500 sont exploitées pour leur bois lorsqu'il est commercialisé. On distingue habituellement les gymnospermes (résineux) des angiospermes (feuillus) : les caractéristiques de leur bois sont assez différentes. Le bois, matériau de construction, provient du tronc des arbres exploités. L'observation macroscopique d'une section transversale d'un tronc d'arbre montre ses différents constituants et leurs caractéristiques. On observe sur la figure n° 1 les cernes d'accroissements annuels constitués chacun d'une couche de bois initial ou de printemps (zones claires) et d'une couche de bois final ou bois d'été plus dense que le précédant (zones sombres). Les cernes annuels ont une largeur variable selon leur distance à la moëlle, ce qui modifie les propriétés du bois. Ces variations de largeur de cerne résultent des conditions de croissance des arbres (sylviculture, fertilité du sol et climat). On distingue également des couleurs du bois qui diffèrent à cœur. La couleur est une propriété ou caractéristique importante pour de nombreux usages, notamment pour les plus valorisants, c'est-à-dire lorsque le bois est visible (meubles, décoration, etc.). Enfin, on observe sur cette même figure la trace de la partie incluse dans le tronc des branches, les nœuds. Selon les usages auxquels on destine le bois, on recherchera des troncs qui en seront exempt (des bois élagués, figure n° 2) : c'est le cas de l'ébénisterie fine. Lorsque le bois est mis en œuvre sous forme de charpente, les nœuds sont acceptés. Ils n'en constituent pas moins des zones de faiblesse des poutres et il conviendra de limiter leurs dimensions et leur nombre. Lorsqu'elles existent, ce sont les règles de classement des bois qui définissent les caractéristiques acceptables adaptées aux usages auxquels on destine les produits du bois.

FIGURE N° 1
Section avec nœuds. Épicéa commun

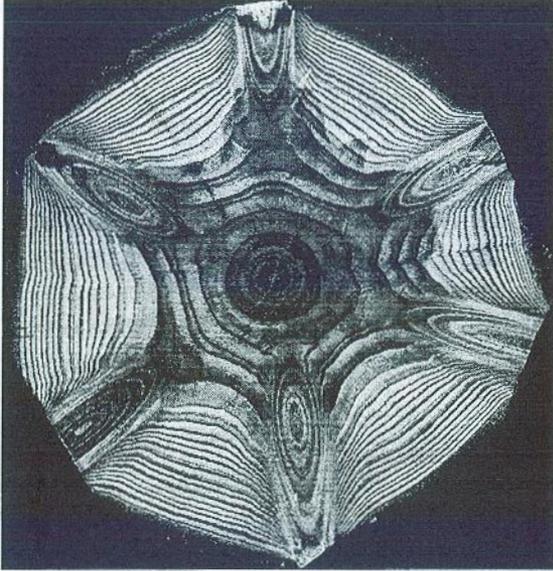
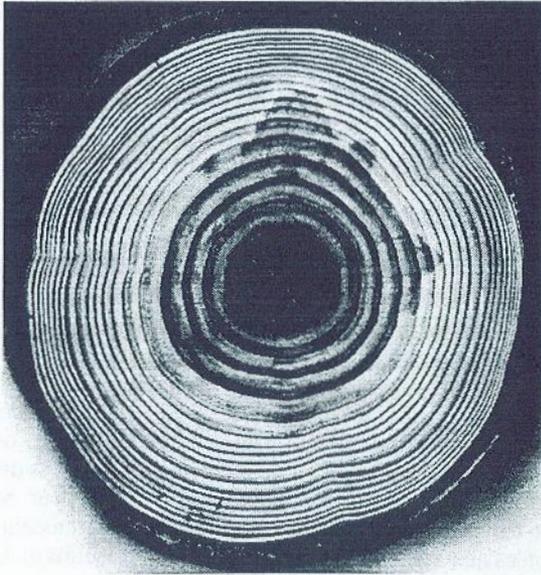


FIGURE N° 2
Section sans nœuds. Épicéa commun



Examinons à présent le matériau à une échelle microscopique. Les figures n° 3 et n° 4 représentent respectivement des échantillons de bois résineux et feuillus. Sur la figure n° 3, on note la présence d'un type d'élément anatomique, les trachéides (fibres), qui assurent les fonctions de support et de conduction. Leurs dimensions sur la face transversale (plan radial-tangentiel ou RT) sont de l'ordre de 30 microns de côté. L'épaisseur de leur paroi est de quelques microns, et leur longueur, dans la direction longitudinale (plan radial-longitudinal ou RL) est de quelques millimètres. Le lumen (le vide au milieu des cellules) des trachéides de bois initial est de dimension plus importante que pour les trachéides de bois final, ce qui explique les couleurs claires et sombres des cerne annuels qui apparaissent au niveau macroscopique. La densité du bois à l'intérieur d'un cerne annuel varie ainsi de façon importante de moins de 0.3 pour le bois initial à plus de 1 pour le bois final.

FIGURE N° 3

Anatomie d'un bois résineux au niveau d'une limite de cerne

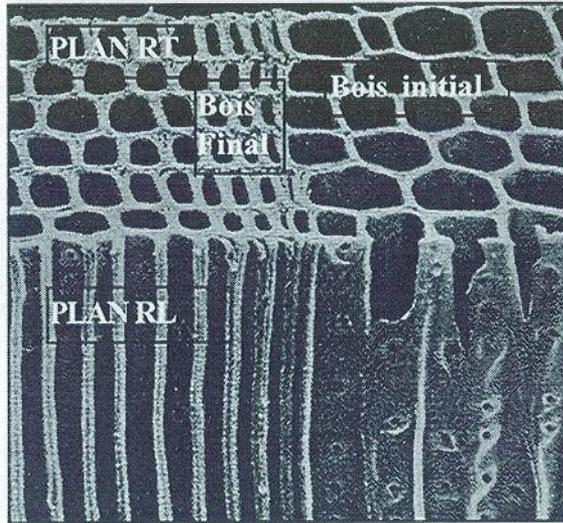
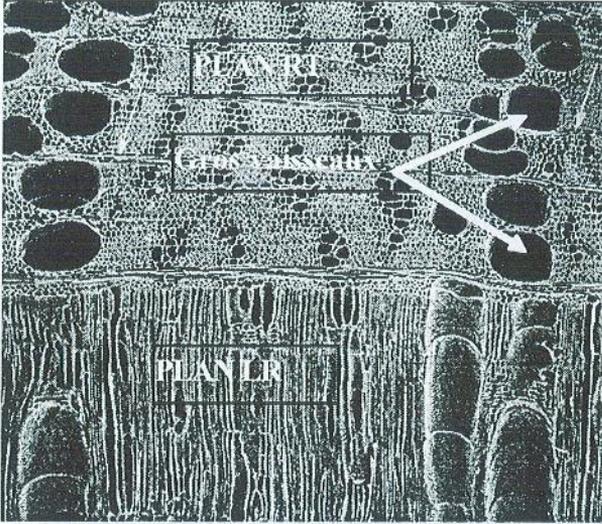


FIGURE N° 4
Anatomie d'un bois feuillu



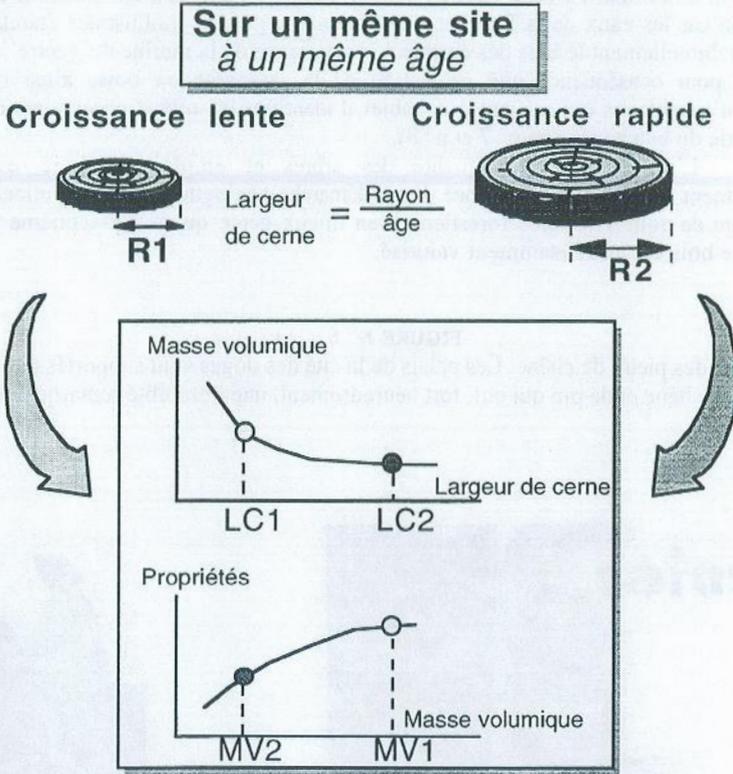
Un bois feuillu tel que le chêne (figure n° 4) présente au niveau microscopique deux principaux types d'éléments anatomiques : les gros vaisseaux (0,3 mm), qui assurent la fonction de conduction, constituent le bois initial ; le bois final du cerne qui est fait de petits vaisseaux, ainsi que de fibres assurant la fonction de support. Les feuillus sont d'un point de vue botanique plus évolués que les résineux du fait de cette spécialisation des éléments anatomiques.

II – CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES

La mise en œuvre du matériau implique bien souvent un séchage qui entraîne une déformation des pièces de bois, ainsi qu'une diminution de leurs dimensions (la rétractibilité). La nature biologique du matériau bois lui confère certaines particularités. Il s'agit tout d'abord d'un matériau anisotrope. En effet, les caractéristiques anisotropes des éléments anatomiques (trachéides, vaisseaux et fibres) ont pour conséquence des propriétés physiques et mécaniques différentes selon qu'il est sollicité dans la direction longitudinale (parallèle aux fibres) ou dans une direction transversale (perpendiculaire aux fibres). Les propriétés telles que la dureté, la rigidité, la limite de rupture sont souvent liées à la densité du bois, densité qui peut varier dans de fortes proportions entre essences (de 0,1 à plus de 1) et au sein d'une essence, ceci en fonction des conditions de croissance. La figure n° 5 illustre les relations existant entre conditions de croissance et propriétés du bois.

FIGURE N° 5

Relation entre vitesse de croissance et propriétés du bois. Cas de l'épicéa commun.



Lorsque sur un même site, deux peuplements sont plantés à forte densité (beaucoup de tiges par hectare) et faible densité (peu de tiges à l'hectare), les arbres du premier auront au même âge, lors de la coupe finale par exemple, un diamètre plus faible que les arbres à croissance 'rapide' du second peuplement. La largeur moyenne des cernes sera alors plus faible, et la masse volumique du bois plus forte que pour les arbres dont la largeur de cerne sera plus élevée. Cela vient de l'augmentation de la largeur de cerne (il s'agit de l'exemple d'un résineux, l'épicéa) qui se fait exclusivement par l'augmentation de la largeur de cerne du bois de printemps de faible densité. Pour un feuillu tel que le chêne, c'est l'effet inverse qui se produit. En effet, une augmentation de la largeur de cerne se traduit essentiellement par une augmentation de la largeur de bois qui est constitué de fibres de densité élevée. Cependant, pour les résineux et les feuillus, les propriétés de leur bois sont liées positivement à la densité.

Le bois présente de bonnes propriétés pour l'usage en construction tout en ayant un poids propre faible. Ces propriétés – parmi d'autres – expliquent que le bois a été de tout temps mis en œuvre par l'homme. Deux exemples d'utilisation sont présentés sur les figures suivantes. Ils illustrent d'une part, l'action de bâtir (Venise) et

d'autre part, l'importance stratégique du matériau lorsqu'il constituait la matière première pour la construction d'une flotte de guerre. Le *Vasa* est un vaisseau qui coula peu après son lancement en 1628 car mal conçu. Il nous est parvenu en excellent état de conservation car les eaux de la Baltique ne contiennent pas de mollusques (tarets) qui détruisent habituellement le bois des épaves. L'importance de la marine de guerre à cette époque eut pour conséquence une protection de la ressource en bois, ainsi que la réalisation d'inventaires qui avaient pour objet d'identifier les arbres nécessaires à telle ou telle partie du bateau (figure n° 7 et n° 8).

L'adéquation entre qualité des arbres et emploi du bois est ici particulièrement développée. L'absence d'une démarche analogue handicape aujourd'hui le bon usage de notre ressource forestière, bien mieux gérée qu'au dix-septième siècle mais dont le bois est insuffisamment valorisé.

FIGURE N° 6

Venise sur des pieux de chêne. Les palais de la cité des doges sont supportés par des pieux de chêne et de pin qui ont, fort heureusement, une durabilité remarquable

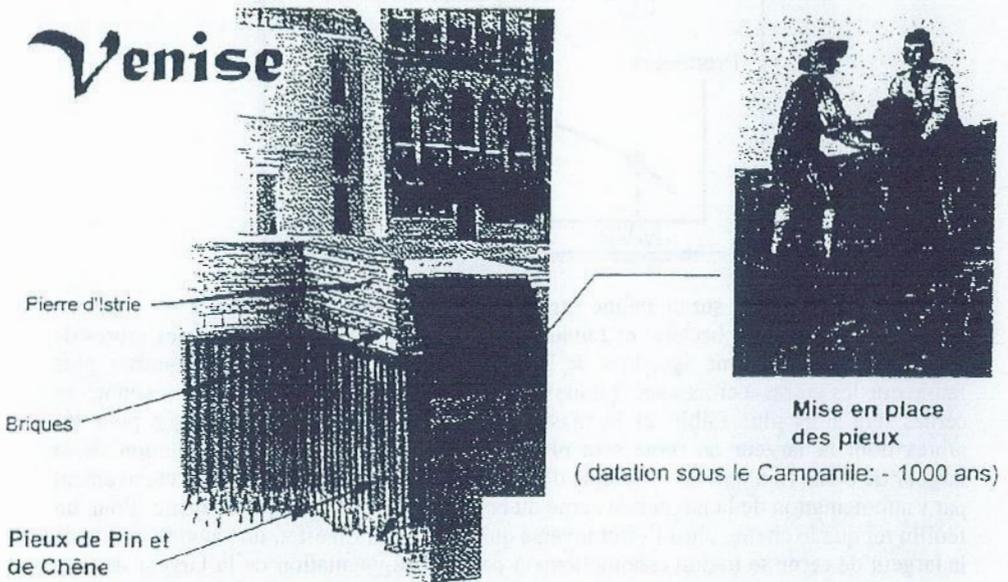


FIGURE N° 7

L'inventaire des pièces de marine en forêt (Matz, 1991)

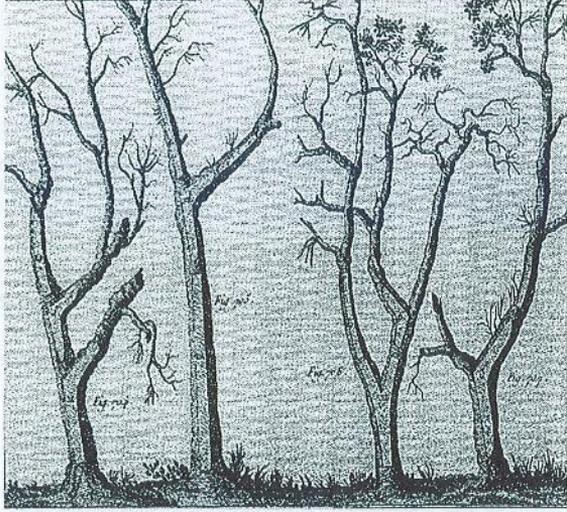
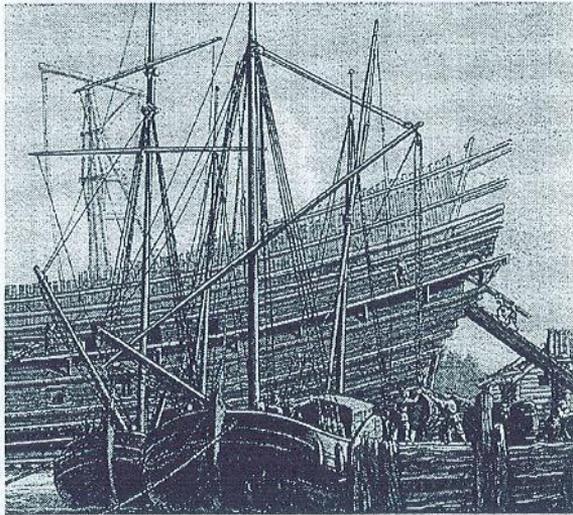


FIGURE N° 8

La construction du VASA a nécessité 1000 arbres (Matz, 1991)



III – LE BOIS ET SES CONCURRENTS

La prise en compte du coût énergétique de production du bois le place en bonne position lorsqu'il est comparé aux autres matériaux. Sur la figure n° 9 (inspirée de Ashby, 1982), nous représentons la rigidité des principaux matériaux utilisés dans les domaines de la construction et de l'industrie. La figure n° 10, inspirée du même auteur, représente la contrainte de rupture admissible en fonction de la densité. Le bois y figure derechef en bonne place et voisine même le domaine qui est celui de la recherche, c'est-à-dire là où l'on élabore les matériaux performants de demain, très résistants à la rupture et d'une densité faible. La connaissance intuitive et empirique d'un niveau de propriété, compte tenu de la densité du matériau-bois fut prise très tôt en compte, comme en témoignent les réalisations du passé. Dans les Vosges, les charpentiers qui construisaient des halliers, évoquaient les propriétés respectives des bois en disant : *chêne debout, sapin de travers et tu porteras l'univers*. Le chêne est effectivement durable lorsqu'il est en milieu humide notamment, et le sapin (ou bien l'épicéa commun souvent utilisé sous la même dénomination) présente un des meilleurs rapports « performances/masse volumique ».

FIGURE N° 9

La rigidité et le coût énergétique de production des principaux matériaux (Ashby, 1982)

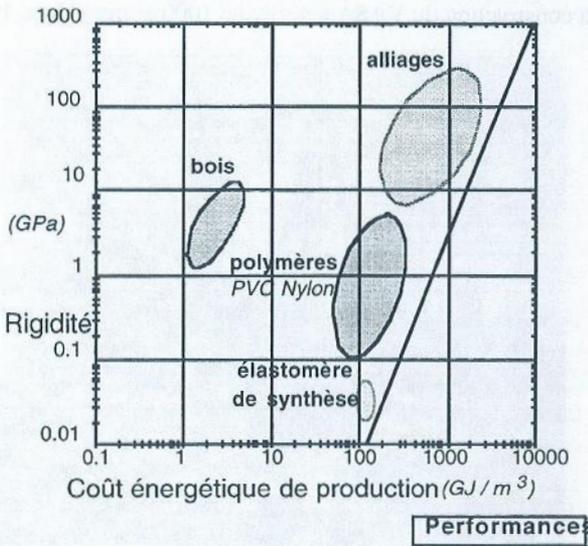
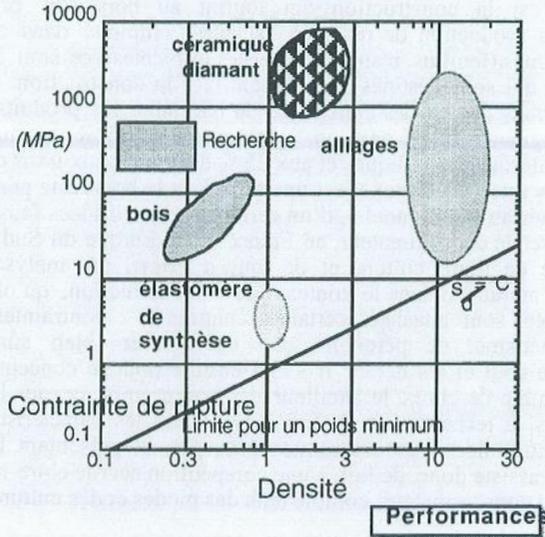


FIGURE N° 10
 Contrainte de rupture et densité
 des principaux matériaux (Ashby, 1982)



Pour conclure cette brève présentation du matériau bois et de quelques unes de ses caractéristiques, citons Philibert Guinier (*in* Rochette, 1963), qui s'exprimait dans un ouvrage daté de 1947 : « Au vingtième siècle, on s'est trouvé en présence d'une situation paradoxale : le bois, ce vieux matériau, mis en œuvre depuis des millénaires, était mal connu, utilisé de manière insuffisamment rationnelle et se prêtait mal aux exigences d'une industrie moderne. L'utilisation du bois reposait sur une expérience (pour ne pas dire une routine) artisanale. De là venait d'ailleurs cette méfiance croissante des ingénieurs et architectes envers ce matériau qu'ils jugeaient d'emploi peu sûr ». Ce jugement porté, voilà cinquante ans, reste d'une cruelle actualité, malgré les efforts consentis pour améliorer les connaissances et l'usage du matériau bois, en la construction notamment. Le thème de cette journée et la qualité des intervenants qui y participent nous enjoignent à poser la question suivante aux ingénieurs et architectes : pourquoi le bois n'est-il pas mieux et plus utilisé dans la construction ? Par ailleurs, nous souhaitons également interpeller nos collègues historiens. Pourquoi n'y a-t-il pas d'âge du bois ? N'a-t-il jamais existé, en dépit de l'importance qu'eut le bois dans le développement de l'humanité ? Ne l'avons-nous jamais quitté ? A moins qu'il soit à venir. En effet, à une époque où la démographie et la consommation augmentent, nous avons pris conscience de la nature limitée de nos ressources naturelles. Dès lors, le caractère renouvelable du matériau bois, allié à des propriétés remarquables, sont des qualités qui devraient faire entrer dans l'âge du bois.

LE BOIS : NOUVELLES TECHNOLOGIES ET NOUVEAUX MATÉRIAUX

par Pascal TRIBOULOT et Jean-Michel LEBAN

C'est la construction qui fournit au bois son principal débouché. L'essentiel de la production de résineux est aussi employé dans ce secteur. Toutes essences confondues (feuillus, résineux, essences tropicales), ce sont 58 % des volumes de bois produits qui sont destinés au bâtiment et à la construction. Cependant, sur ce créneau et en termes d'achat des entreprises du bâtiment, les produits bois et à base de bois restent marginaux : 8 % environ, à comparer aux 35 % des matériaux minéraux, aux 32 % des matériaux métalliques et aux 25 % des matériaux issus de la pétro-chimie. La compétition « inter-matériaux » est une réalité, et le bois reste pénalisé car souffrant de l'image « matériau traditionnel », d'un certain nombre d'idées fausses et d'un rapport contradictoire avec le consommateur, en France et en Europe du Sud en particulier. Si, abstraction faite de toute culture et de tout *a priori*, on analyse la démarche du concepteur, de l'architecte dans le contexte de la construction, qu'observe-t-on ? À la volumétrie à créer sont attachées certaines contraintes : contraintes de géométrie, de fiabilité, d'esthétisme, de pérennité de l'ouvrage et, bien sûr, des contraintes économiques, le coût et les délais. Il s'agit ensuite pour le concepteur de rechercher à travers un ensemble de choix le meilleur des compromis, ce qui le conduit, dans la majorité des cas, à rechercher le matériau possédant les caractéristiques requises, les meilleures garanties liées aux contraintes évoquées, et présentant le meilleur rapport qualité-prix. On assiste donc, de fait, à une compétition accrue entre matériaux, le choix final revenant au consommateur, compte tenu des modes et des cultures.

I - SUR LA FIABILITÉ

Le concepteur s'attache ainsi à rechercher un matériau *fiable*, (constant dans ses propriétés physiques et mécaniques), *souple d'emploi* (mise en forme illimitée), déclinable en semi-produits (plaques, barres...) et en adéquation avec ses coûts d'objectif. Dans ce contexte, qu'en est-il du bois ?

L'origine biologique du matériau, sa nature même, la présence des singularités font décrire le bois comme matériau variable, avec la perte de crédibilité que cela entraîne (la « variabilité » est d'ailleurs une discipline enseignée dans les cursus de formation traitant des Sciences du Bois...). À l'analyse, sans précision sur les nuances et les origines, les autres matériaux de construction présentent des niveaux de variabilité comparables. Le tableau suivant apporte quelques éléments de comparaison. Les données mécaniques minimum et maximum tirées de la littérature et portant sur les matériaux les plus courants précisent cette comparaison.

Sur les modules d'élasticité E	mini (Mpa)	Maxi (Mpa)	Rapport (Max / min)
- Pin Maritime	7 300	15 100	2,06
- Béton	45 000	50 000	1,11
- Alliages d'Aluminium	69 000	79 000	1,14
- Aciers de construction	200 000	220 000	1,10

Sur les contraintes (compression)			
- Bois (compression axiale)	35	55	1,57
- Béton (à 28 jours)	25	65	2,60
- Alliages d'Aluminium	300	700	2,33
- Aciers (faiblement alliés)	680	2 400	3,52

L'introduction et le développement de l'Eurocode 5 (règles de calcul européennes dans le calcul des structures bois) a modifié l'approche. L'un des intérêts majeurs de ces règles de calcul aux états limites vient de la nécessité d'utiliser en construction des bois classés mécaniquement. Ainsi, on ne parlera plus de « bois » mais, par exemple, « de résineux C30 » (30 MPa de contrainte de rupture en flexion, norme EN338). Cette approche redonne au bois un niveau de fiabilité analogue aux autres matériaux de construction en termes de propriétés mécaniques garanties. Les développements dans ce cadre portent sur les processus de classement par machine. Ces classements mécaniques automatiques sont apparus vers 1960, en Australie, aux États-Unis, au Royaume-Uni, puis dans d'autres pays. Le principe de base reposait sur un contrôle non destructif en flexion (dans le domaine élastique) de chaque avivé tombant de scie. Les générations de machines de classement suivantes ont intégré, selon différentes techniques ou combinaisons, les méthodes vibratoires, les micro-ondes, les ultrasons, la reconnaissance automatique des singularités par analyse d'image, les rayonnements. Notre industrie est encore loin de les avoir toutes assimilées. Le classement est à ce jour surtout basé sur un classement visuel, prenant en compte la taille, la forme, le nombre, la position des nœuds. La pression de la normalisation (Eurocode 5) changera cela.

Une autre approche visant à améliorer le degré de fiabilité du matériau est menée par le biais de l'homogénéisation. Le lamellé collé illustre cette voie. Globalement, après purge des singularités (nœuds, poches de résine...) et aboutage, les éléments sont assemblés par collage pour constituer des panneaux, des poutres. L'optimisation de la matière première est évidente, l'augmentation de la fiabilité et des possibilités d'usage en grandes longueurs, également. Cette technique, bien connue maintenant, n'est pas récente. Des sarcophages égyptiens de plus de 3 500 ans étaient déjà formés de lamelles de bois collées. Les Romains utilisaient aussi une technologie très proche. Les premiers grands édifices en bois lamellé-collé furent construits aux États-Unis dans les années 1930. Cette technique progressa après guerre, suite à la demande en bâtiments à grande portée destinés aux usages industriels et militaires.

L'amélioration de la fiabilité du matériau passe aussi par une réponse au caractère hygroscopique de la matière ligneuse. Nul n'ignore que les variations d'humidité engendrent des variations dimensionnelles pouvant être importantes. L'analyse des pathologies rencontrées sur les ouvrages en bois montre que, dans près de 20 % des cas, les variations dimensionnelles expliquent les désordres rencontrés. De plus, le fluage croît avec le taux d'humidité. Si le maintien d'une humidité constante

dans l'usage des structures et des produits bois résout le problème, le concepteur ne saurait toujours s'en satisfaire. On s'oriente alors vers une protection, une modification par voie thermo-chimique du matériau, voire des techniques plus complexes provoquant un blocage artificiel du bois par modification ou association des structures moléculaires du matériau (en particulier, des groupes hydroxyls qui constituent les sites hydrophiles).

Sur cette base, différentes techniques ont été ou sont en cours de développement. Le bois rétifé peut dans ce cadre présenter des atouts pour le matériau. La réтификаction est réalisée par voie thermique en atmosphère et pression contrôlées dans une gamme de température située aux alentours de 250°C. Les réactions du bois au cours de ce traitement thermique permettent d'effectuer une thermo-condensation sélective de certains dérivés ligno-cellulosiques, tout en maintenant les principaux constituants structuraux d'origine. Des applications en menuiseries extérieures, bois exposés aux intempéries sous forme de platelages, tracent des perspectives prometteuses. Dans le même esprit, le bois HTT (High Temperature Treatment) améliore aussi la stabilité dimensionnelle. L'autre avantage des bois traités thermiquement repose sur l'amélioration de la durabilité du matériau. Le traitement thermique à haute température a pour effet d'une part, de stériliser les bois qui pourraient être parasités ; d'autre part, de générer dans la masse des composés inhibiteurs des principaux agents biologiques de dégradation. L'élimination des éléments nutritifs, sa faible hygroscopicité en font un matériau protégé durablement, sans traitements ultérieurs contre les champignons et les insectes, termites excepté. Des solutions par voies chimiques sont également trouvées. La stabilisation des panneaux de particules peut être obtenue grâce à l'oxyde de butylène, qui diminue de 50 % le gonflement des panneaux et de 25 % l'absorption d'eau ; à l'anhydride acétique qui diminue ces deux caractéristiques de 85 % et 50 %. Enfin, il est possible d'envisager des traitements de surface, des agents ignifugeants comme le silicate de soude ou de potassium, des agents d'étanchéité comme le carbonate de baryum ont été testés, donnant des résultats significatifs.

II – SUR LA PRÉSENTATION

La fiabilité du matériau passe aussi par sa pérennité. Il a été montré que chez les concepteurs (architectes), et en opposition avec les points forts du bois vis-à-vis des autres matériaux de construction, la durabilité est perçue comme le premier élément de faiblesse des matériaux de construction, à base de bois ou en bois massif. Si les éléments métalliques doivent se garantir contre la corrosion, le bois doit se préserver contre les attaques biologiques (insectes xylophages et attaques cryptogamiques). Nous ne détaillerons pas ici l'ensemble des procédés de traitement disponibles ni les solutions constructives limitant les risques. On peut cependant identifier les deux axes des traitements de préservation : comment imprégner en particulier les essences non-imprégnables et comment les rendre durables, avec quels produits, dans un contexte réglementaire particulièrement sensible ?

- Sur les méthodes d'imprégnation, on peut aujourd'hui imprégner des essences jusqu'alors réfractaires, l'Épicéa par exemple. Les traitements en milieu supercritique, mis en œuvre au CRITT-Bois pour le compte de la société Air Liquide, font migrer les produits à cœur. C'est un procédé à sec qui minimise tout risque de pollution.

- Sur les produits, il existe deux approches. L'une améliore la fixation des produits type CCA (solutions de sels de Cuivre, de Chrome et d'Arsenic). Les techniques de fixation accélérée sont basées sur le principe d'une exposition à une source de chaleur. L'autre recherche d'autres générations de produits sans arsenic. On citera les produits du type CCB (Cuivre-Chrome-Bore) ou CCF (Cuivre-Chrome-Fluor). Wolman

propose ainsi un produit de préservation sans cuivre et sans arsenic, qui permet d'obtenir un traitement de classe 4, garantie de durabilité pour des situations où le bois ou le produit à base de bois est en contact avec le sol ou l'eau douce et est ainsi constamment exposé à une humidification.

Les exigences en matière d'environnement feront considérablement évoluer les méthodes et les produits obligés de satisfaire à des caractéristiques plus strictes en termes de non-toxicité. Les bois de structure devront être traités dans leurs géométries finales pour éliminer tout déchet de bois traité. Les procédés devront exclure les émissions toxiques, les contaminations de sol, d'air, d'eau.

III - SUR L'UTILISATION

Les possibilités d'utilisation du bois massif en structure et en aménagement sont limitées par les dimensions et les géométries du tronc des arbres. Les séquoias géants de Californie, avec des diamètres de base compris entre 6 et 9 m et des hauteurs de fûts supérieures à 80 m restent des exceptions. Le concepteur doit disposer un ensemble (ou catalogue) de semi-produits clairement identifiés en termes de caractéristiques physico-mécaniques pour réaliser ses ouvrages. Les réponses à cette exigence sont, là encore, apportées par l'homogénéisation qui permet d'optimiser la matière première, de la stabiliser, de la rendre plus isotrope mais, également, de décliner le matériau dans une gamme de produits standards allant des barres aux longueurs infinies (lamellé-collé, LVL...) aux plaques de grandes dimensions (panneaux de particules, de fibres, contreplaqué).

Si l'utilisation du bois « massif » est en recul dans les applications « bâtiment », telles que les fenêtres et portes-fenêtres par exemple (6 071 112 unités en 1981, 3 064 728 unités en 1995), l'industrie du bois reconstitué montre la tendance inverse (190 855 tonnes de panneaux de fibres en 1981, 390 000 tonnes en 1995). Tous les indicateurs vont dans le sens d'une utilisation du bois sous forme de matériaux reconstitués ou, plus exactement, sous forme de produits composites dérivés du bois. Le terme de composite est pris ici au sens large, à savoir le résultat d'un mélange non miscible de plusieurs constituants dont les propriétés finales diffèrent de celles qu'aurait chaque constituant séparément. Historiquement, il ne s'agit pas d'une révolution, les torchis, mélanges de terre, de paille, ou d'autres matières végétales, et utilisés dans la construction, remontant très loin dans le temps. Le premier brevet sur le contre-plaqué fut déposé en 1884 en Tchécoslovaquie. Mais la première usine française date de 1912. Les panneaux de fibres inventés aux États-Unis datent de 1910 inspirés d'une technique ancienne de papier très épais mise au point par les Chinois. Les premiers panneaux bois-ciment furent élaborés en Suisse en 1930. En 1939, toujours en Suisse, mais également en Allemagne, apparurent les premiers panneaux de particules. Le bois baké date de 1945. Le MDF (panneaux de fibres) dans sa configuration d'aujourd'hui est sur le marché américain depuis 1965, et depuis quelque dix ans en France. L'OSB (Oriented Strand Board), fabriqué et commercialisé en France par Isoroy (Triply), compromis entre le panneau de particules et le contre-plaqué, s'est développé en France seulement depuis 1980.

On assiste donc depuis trente ans à une véritable explosion des produits composites bois. On peut attribuer l'accélération des innovations dans ce domaine, bien sûr, aux avantages techniques liés à l'homogénéisation, mais aussi à des raisons économiques. C'est une nécessité pour la filière dans son ensemble car l'industrie du panneau (et de la pâte) utilisent 75 % des sous-produits de l'industrie du bois (dosse, délignures, plaquettes, copeaux...). La valorisation des arbres de petits diamètres,

présentant beaucoup de noeuds, tendance des bois issus des forêts de deuxième génération, passe logiquement par ces techniques d'homogénéisation. Les espérances concernent aujourd'hui les applications bois-thermoplastiques, matériaux qui sont moulables ou extrudables. Ce développement tardif est dû à l'incompatibilité chimique initiale entre le bois et les thermoplastiques usuels, le premier étant hydrophile et les seconds, hydrophobes. Les progrès récents assurent le traitement du bois ou du polymère afin d'obtenir une interface résistante. Un autre intérêt et non des moindres de l'essor des bois thermoplastiques réside dans leurs potentialités de recyclage quasi infinies, par broyage et remise en forme, par exemple. Ce point illustre l'un des axes qui conditionne l'avenir du bois, celui de la mixité ou de l'association avec les autres matériaux de construction.

Dans le contexte concurrentiel entre les matériaux, les technologies évoquées ont un coût. Loin de les nier, il est bon de se rappeler en terme de comparaison et pour fixer les ordres de grandeur que le prix du kilogramme d'acier et du kilogramme de résineux sont du même ordre, environ 2 Frs/kg. Cette précision montre l'intérêt d'innover en permanence pour que le bois reste compétitif dans le domaine du bâtiment. Une argumentation uniquement basée sur « la chaleur du bois », sur « le matériau vivant » et sur « la tradition » est limitée, peu crédible. La communication sur le thème de l'écologie du matériau est, bien sûr, à considérer, les comparaisons étant alors très favorables au bois. Cependant l'éco-construction demeure avant tout une affaire de conception architecturale et technique globale. C'est surtout l'éco-gestion du bâtiment lui-même qui contribuera à cette approche. Dans ce cadre, l'impact écologique des seuls matériaux ne pèsera pas lourd, même si le législateur l'impose : projet de loi sur l'air et utilisation rationnelle de l'énergie, dite loi Lepage, « qui fixe les conditions dans lesquelles certaines nouvelles constructions devront comporter une quantité minimale de matériaux en bois avant le 1er janvier 2000 ». On ne pouvait conclure cette présentation dans le cadre sans rappeler les résultats des travaux de l'INRA. Les laboratoires de bioclimatologie de Bordeaux, d'écologie forestière de Champenoux, ont montré, que depuis 1850, l'accélération importante de la vitesse de croissance des arbres était liée à la pollution atmosphérique (+ 160 % pour le Sapin des Vosges !). Si, à travers les nuisances qu'elles génèrent, les villes pariaient sur la production de bois, il serait logique qu'elles utilisent tout aussi massivement les récoltes qui en découlent. C'est un juste retour des choses.

LE BOIS DE QUALITÉ : MATÉRIAU HOMOGENE ET INDUSTRIEL

par Xavier MARTIN

Le bois est un des matériaux les plus anciens utilisé par l'homme. C'est aussi vraisemblablement le plus naturel car il a la rare particularité d'être indéfiniment renouvelable pourvu qu'une attention particulière y soit portée. Toutefois, ce même caractère naturel qui en fait un atout au coeur d'une civilisation en quête de racines est aussi un grave défaut vis-à-vis de l'industrie pour qui le bois manque de fiabilité : des procédés innovants et des entreprises structurées permettent d'y remédier. De même, est-il concevable de s'acharner à utiliser plus de bois si son approvisionnement n'est pas assuré ? Voilà les deux challenges à relever pour qu'il reste un matériau de référence.

I – LE BOIS : UN MATÉRIAU À RÉPARTITION DISPARATE

1) Une présence relativement forte en France et en Europe ...

Tant pour des raisons de stratégie que d'utilisation du territoire, la production forestière n'est pas une préoccupation nouvelle. Mais, depuis 1946, avec la création du Fonds Forestier National, elle a pris une grande ampleur. Le 50ème anniversaire de ce mouvement créateur a été discrètement célébré et il convient de dire que les résineux plantés à cette époque sont déjà entrés en production. Il s'ensuit une progression de la ressource constante qui devrait enregistrer un fort accroissement en 2010-2020. Pourtant, si l'espace rural s'est recouvert de forêts et si, sur ce plan, le pari semble gagné, il n'est pas sûr que ces mêmes forêts remplissent à l'avenir leur contrat en matière de production de bois de qualité.

En effet, chacun connaît la pratique qui consiste à planter mais à laisser le peuplement à l'abandon, pour des raisons parfois involontaires, une succession par exemple. C'est pourquoi, à l'effondrement des boisements aidés par l'Etat, correspond l'émergence d'autres aides susceptibles d'améliorer le produit final telles que : élagage, coupes d'amélioration en peuplements feuillus, création de routes forestières afin d'améliorer l'accès, équipement DFCI etc.

De même, en particulier dans le cadre du contrat Plan de la Région-Pays-de-Loire, les aides spécifiques au boisement sont données en deux fois, à l'année n et à l'année $n+4$, en fonction de l'entretien effectué. Par ailleurs, s'il est difficile d'établir des éléments qualitatifs, il est par contre aisé de recueillir l'avis des scieurs et, notamment, des scieurs de chêne. Tous s'accordent sur la baisse de qualité des bois achetés au pied. Autre facteur aggravant, la forêt est très morcelée en France. En effet 1,3 million de propriétaires possèdent 12 % de la surface avec une moyenne d'environ 7 hectares. De plus, le morcellement lié aux successions augmente. Ainsi, si l'on compare pour les Pays-de-Loire les statistiques de 1912 (Daubrée) et de 1994 (S.E.R.F.O.B.), on obtient le tableau suivant :

Superficie	d'après Daubrée (1912)	Moyenne	d'après le S.E.R.F.O.B. (1994)	Moyenne
- 0 à 10 ha	33 113 propriétaires pour 58 104 ha	1,75 ha	101 770 propriétaires pour 115 078 ha	1,13 ha
- + de 10 ha	2 441 propriétaires pour 147 020 ha	60,23 ha	3 205 propriétaires pour 164 159 ha	51,22 ha

On pourrait penser que, pour cette région, jeune d'un point de vue forestier, la surface moyenne aurait augmenté avec le délaissement des terres. On voit qu'il n'en est rien. Cela repose avec insistance le problème de la qualité des produits. En effet, comment un propriétaire ou, plutôt, une suite de propriétaires dans le temps peut-elle consacrer ses soins à 1,13 ha ? En outre, et pour des raisons bien compréhensibles, l'entretien se mécanise. Comment peut-on déplacer pour une journée de travail une machine d'un coût de 2 millions de francs qui doit être rentabilisée de façon intensive ? Faut-il alors penser que ces forêts sont seulement de la biomasse, laissées pour compte tant au niveau de l'entretien qu'en ce qui concerne la production ?

Il faut donc s'interroger, en particulier avec l'intégration des pays scandinaves dans la CEE, sur la relative rareté de bois de qualité sciage dans la double perspective, quantité industrielle et coût comparable à celui du marché mondial. Citons l'usine Pastural de Lapeyre à Epernay (Marne) qui, pour s'approvisionner en frise de chêne (27 mm) de qualité aubieuse (c'est-à-dire courante), mobilise près de deux cents scieries françaises. Dans les Pays-de-Loire, une récente étude commandée par le SERFOB indique que 56,7 % des résineux sciés dans cette région servent à faire « de la palette ». S'agit-il en l'espèce d'un défaut de marketing des scieurs ou d'un défaut de qualité du bois sur pied ?

b) Probablement assez rare a l'échelle mondiale vers 2010-2020

Le problème du bois de qualité n'est pas exclusif de la beauté des arbres et du bois que l'on en attend. C'est aussi - et surtout - un problème de disponibilité. Ainsi, plus de 40 % des 3,5 milliards de m³ récoltés dans le monde est constitué par du bois de feu (Source = Cofi : Bureau canadien de l'Industrie du Bois). Sans compter que la disponibilité de bois à destination de l'industrie posera bientôt un problème crucial, qu'il s'agisse de résineux ou de feuillus. Or cette différence entre la production et la demande sera-t-elle comblée par des politiques forestières dynamiques ou bien par des matériaux concurrents ? La nature et l'économie ayant l'une et l'autre horreur du vide, compte tenu de l'inertie de la forêt, même de type industriel comme au Chili, il est clair que le P.V.C. a de beaux jours devant lui ! N'oublions pas enfin les données démographiques mondiales. Tous les ans, la population égyptienne croît d'un million de personnes supplémentaires qui, toutes devront se loger. De même, la consommation de papier par habitant est de 309 kg aux USA, 245 kg en Suède, 158 kg dans la CEE, 35 kg dans l'Europe de l'Est, 13 kg en Chine. Les conditions de vie en Chine s'améliorent. Qu'en sera-t-il vis-à-vis de la consommation du bois-papier lorsque sa population se rapprochera des standards occidentaux ?

II - LA QUALITÉ, SES SOLUTIONS

L'inquiétude est donc fondée devant le remplacement réel du bois par des matériaux concurrents. Des solutions existent cependant.

a) *La constitution d'éléments homogènes et industriels*

Il s'agit de produire du bois de qualité, c'est-à-dire selon la norme AFNOR X 50 109. Le produit aura les composants suivants : « caractéristiques et performances, fiabilité, maintenabilité, disponibilité, durabilité, sécurité d'emploi, caractère non polluant, coût global de possession ». Que demande-t-on au bois, industriellement s'entend ? Qu'il soit le plus homogène possible, donc constitué de cernes identiques et fins, avec un fil droit, des défauts absents, et s'il faut compter avec des noeuds, qu'ils soient verts, les plus petits et éloignés possibles, etc. (Cf. à ce sujet les normes de classement françaises ou internationales). Au vu de cette description, il semble qu'une partie des exigences corresponde aux termes d'une sylviculture industrielle. Faut-il rappeler que, selon les termes d'un scieur de Mayenne « rien ne sert de produire de beaux arbres s'il ne s'agit pas de bons arbres » ?

De plus, l'industriel de deuxième transformation a de moins en moins de moyens et de temps pour préparer les éléments selon les normes industrielles. De là, vient le succès des prédébâts, en particulier américains (chêne, merisier), dont la qualité (épaisseur, longueur, défauts, siccité) est définie au préalable et par contrat. Là encore, on peut situer l'envol du lamellé-collé consistant à enlever les noeuds par sciage et à rassembler en une planche les morceaux de « sans noeud » par collage. Cette technique est appliquée en priorité à la charpente (lamellé-collé). Elle touche aujourd'hui peu à peu tous les segments de l'activité (panneaux, menuiserie, ameublement...). Ainsi, pour un industriel de la deuxième transformation, entre du bois traditionnel et un panneau lamellé-collé, on peut supprimer huit phases de travail sur dix et cinq machines sur sept ! Le scieur lui-même y gagne. Il sort ainsi du créneau habituel de la planche. Il s'évade du marché mondial très concurrentiel et propose un service assez facilement valorisable. En conclusion, si la constitution d'éléments homogènes et industriels passe par l'industrialisation, il ne faut pas négliger le classement, voire l'écocertification, garantie supplémentaire de produits de qualité.

b) *La conception de produits nouveaux à base de bois*

La consommation en bois française depuis une dizaine d'années manifeste un effondrement des importations de bois tropicaux (1990-1995 : - 18 % équivalent bois rond), un tassement des importations de bois du Nord (1990-1995 : - 7,8 %) et meilleure utilisation des bois français. Ceci résulte de l'augmentation du prix des bois tropicaux mais surtout de la meilleure appréhension, voire des transformations nouvelles des essences locales. Ainsi, le panneau de particules, produit essentiellement européen, développé depuis la Deuxième Guerre mondiale, est obtenu à partir du bois de qualité papetière et de déchets de scierie sans aucune destination de bois d'œuvre. Le L.V.L. (Laminated Veneer Lumber), sorte de contre-plaqué où toutes les tranches de bois sont placées dans le même sens, est un apport remarquable à l'art de la charpente permettant d'utiliser des bois de qualité secondaire (résineux : Kerto ; feuillus : études en cours, en particulier pour le chêne). Sur le même créneau de la construction, le Parallam de Trust Joist Mac Millan est une autre réponse industrielle aux problèmes de la structure.

Le lamellé-collé, aujourd'hui couramment utilisé, donne aux profils de menuiserie (fenêtres), malgré la multiplicité des petits bouts de bois qui le composent, la stabilité qui manquait au bois massif. Sans clore la liste, mentionnons les parquets densifiés qui défient les rayures, le bois réifié qui propose de nouvelles résistances. Le domaine de la recherche s'intéresse non seulement au bois (par exemple la réalisation de composites bois carbone), mais aussi aux produits connexes du bois, en particulier aux produits qui peuvent le rendre plus durable (peintures, produits de préservation « écologiques »). Par cette énumération, on constate que le bois peut très bien n'en être qu'au début de son histoire, son travail comme matériau élaboré étant extrêmement récent. C'est aujourd'hui la réflexion sur les produits connexes (colles, produits de préservation, vernis, peintures,...) qui lui permettra d'évoluer. C'est enfin, la compréhension par les entreprises, grâce à la recherche et au développement, de nouvelles technologies applicables à d'autres marchés qui sera facteur d'évolution.

Qu'est-ce qu'une entreprise du bois ? C'est une moyenne de 45 personnes à l'échelon national, 92 pour les Pays-de-Loire (source = INSEE 1993). Alors que les sociétés de 20 salariés et plus représentaient, en 1995, 12 % de l'industrie française, les entreprises du même type dans la filière-bois n'occupaient que 8 % du total.

Le chiffre d'affaire de l'industrie du bois, figurant pourtant parmi les premiers produits échangés dans le monde, constitue 5,8 % du chiffre d'affaire de l'industrie française (hors énergie). C'est donc fort peu. Comment, dans ces conditions, c'est-à-dire dans le cadre de ce que l'on doit bien appeler une très petite entreprise, dégager un budget de recherche et de développement, ou même un budget de communication ? On est ici au cœur du problème d'une filière difficilement capable de réfléchir sur de nouveaux concepts ou de nouveaux produits, et, de toute façon, n'ayant aucun moyen de les faire connaître. Les fabricants de fenêtre bois, à part Lapeyre (avec le rachat de l'entreprise « les Zelles » Lapeyre est aujourd'hui le leader de la fenêtre en PVC) ont-ils ainsi la faculté de combattre l'hégémonie des fermetures plastiques ?

Par ailleurs, ces entrepreneurs, le plus souvent ruraux, connaissent mal les nécessités du monde industriel. Leurs entreprises sont assez peu structurées (le taux d'encadrement y est de 6,1 % contre 13,1 % pour l'industrie française en général), avec une sur-représentation par rapport à l'industrie française des ouvriers qualifiés (47,7 % contre 29,6 %) et non qualifiés (28,9 % contre 13,3 %). De plus, la filière bois française est assez peu exportatrice. En conclusion, c'est avant tout par une vraie formation des industriels à l'esprit de *management*, par l'embauche de cadres de qualité ayant une bonne culture industrielle et la volonté de développer de nouveaux produits, que le bois deviendra un matériau industriel et donc de qualité. Il pourra alors s'imposer.

VOYAGE AU PAYS DU BOIS DANS LA CONSTRUCTION

par Gilbert STORTI

Il est particulièrement difficile de résumer la conférence et de décrire son ambiance sans l'accompagnement du support photographique qui forme le fil conducteur du « voyage » proposé. Néanmoins, on peut donner un aperçu de l'intervention sous forme de messages symboliques effleurants, enchevêtrant toujours les rapports entre l'homme, l'usine à vie particulièrement performante que représente la « forêt », le matériau « bois » et ses dérivés, l'hyper-industrialisation et l'artisanat à outrance, le siècle de la hâte, l'équarrissage normatif et la vie dans la société moderne, l'évolution des formes et des outils, la mixité des matériaux et des procédés techniques, l'archéologie pour innover, la nouvelle responsabilité de l'homme, etc...

Plan de principe sur fond de ce qui précède

- Introduction et présentation du CNDB (Comité National pour le Développement du Bois). Créé par le Conseil Interfédéral du Bois (C.I.B.), et soutenu par les pouvoirs publics, le CNDB rassemble les fédérations nationales et les interprofessions régionales de la filière forêt-bois-construction. C'est donc au nom et dans l'intérêt partagé de tous les métiers du bois que le CNDB assure la promotion de ce matériau, pour faire construire et aménager avec du bois.

- La diversité biologique et la gestion forestière. Avec des ressources forestières en forte croissance, bien gérées et facilement disponibles, la filière se place en effet résolument dans une perspective de développement. Mais la question n'est pas aussi simple car elle implique des engagements de professionnels ou d'organismes aux intérêts souvent opposés.

- Quelques chiffres : la superficie boisée française (troisième rang européen) couvre plus de 15 millions d'hectares, soit environ 29 % du territoire métropolitain et plus de 14 % de la forêt communautaire (U.E. des 15). La forêt française présente par rapport à ces concurrents européens deux caractéristiques, d'une part être diversifiée (plus de 80 essences ligneuses dont un tiers de feuillues), de l'autre appartenir de 70 % de sa surface au secteur privé. La forêt publique (environ 3,7 millions d'hectares) se compose de 40 % de forêts domaniales, de 60 % de forêts communales.

- Le bois, matériau ancestral, a toujours été source d'activités intenses et particulièrement diversifiées. Les produits de la sylviculture et de l'exploitation forestière sont transformés pour approvisionner quatre domaines : le papier, l'emballage, la construction, l'ameublement (le bois énergie). L'industrie du bois au sens large représente en 1995 un chiffre d'affaires d'environ 170 000 MF et emploie approximativement 200 000 personnes, représentant environ 2 000 entreprises.

- Sylviculture, récolte (bois d'œuvre, bois d'industrie, bois de chauffage), première transformation (tranchage, déroulage, sciage, déchets, particules, pâte), deuxième transformation (contre-plaqué, emballage, charpente, menuiserie, parquet, lambris, meubles, poteaux, traverses, papiers, cartons, recyclage), représentent les étapes qui ont pour objet de faire qu'un arbre sur pied devienne un produit.

- Les relations ambiguës que nous entretenons avec la forêt (protectrice, dangereuse, cathédrale, champ d'arbres et fabrique à bois, réserve, musée, tourisme...). Au fond nous la connaissons peu ou mal.

- L'histoire de la vie végétale sur notre planète est celle d'une conquête, celle de la lumière. La forêt naturelle existe-t-elle en France, en Europe ? Un manque

réel de communication est à constater. Redécouverte d'une forme de culture bois oubliée depuis 1885. Écoles d'ingénieurs du bâtiment et écoles d'architecture proposent depuis peu de temps des formations bois.

- Le paysage, l'environnement, responsabilité naturelle et contractuelle, la cité, l'arbre, une espérance d'eau s'élevant vers la lumière...

- Le bois matériau. Chaque bois possède sa propre structure anatomique et ses propres qualités qui le prédestine. Nous redécouvrons des essences oubliées, nous savons de mieux en mieux caractériser les essences. Pourquoi utiliser l'ipé, l'iroko, l'azobé, etc... en extérieur, l'érable sycomore pour les manches de violon ? La nature nous offre la courbe, « l'intelligence » de l'homme la transforme souvent en quadrilatère, en quadrilatère normalisé. Le bois permet « la courbe ».

- Le bois, matériau traditionnel ; le bois, matériau du futur. Il a servi, avec une égale docilité, l'artisan, le charpentier, le marin, le luthier, l'ingénieur, le sculpteur... Car l'art, qu'il soit académique ou populaire, l'a couramment utilisé. Il est le support à toutes les abstractions et à tous les rêves.

- Les maisons à pan de bois, la charpente en bois font partie de notre patrimoine et le secteur du bâtiment reste encore, de très loin, le premier débouché de nos scieries. Le bois n'appartient plus au seul domaine du traditionnel. Depuis 1988, nous savons construire avec le bois ! En effet, d'un point de vue juridique français, il manquait un document important et surtout opposable juridiquement, le Document Technique Unifié Bois Feu 1988. Ce qui veut dire qu'avant 1988, la prescription du bois posait problème. La poussée de la forêt française, les travaux du Centre Technique du Bois associés à l'« Europe » et à la prise en compte de l'environnement font du « bois » une mode qui, grâce à une meilleure communication, devient un mode constructif.

Les bois, massif ou reconstitué, sont des matériaux et produits performants par :

1. Une puissance de séduction
2. Un rapport poids-résistance mécanique particulièrement favorable pour les franchissements, la réhabilitation de structures
3. La possibilité de les associer à d'autres matériaux, acier (assemblages, poutre sous tendue), verre (collé), toile, ciments...
4. Leur comportement par nature durable (certains bois tropicaux, orme...) ou rendu durable par injection de sels métalliques (pins), parfaitement adapté à des environnements difficiles (dans l'eau de mer, eau douce, milieux humides, agressifs piscines, usines...) dès l'instant que l'essence a été bien sélectionnée et qu'il a été mis en œuvre dans les règles de l'art
5. Leurs propriétés acoustiques, certes utilisées pour des instruments de musique mais aussi dans les salles de concerts (souvent des résineux), dans les ateliers industriels
6. Le confort apporté naturellement à la marche (souplesse, amortissement), l'été, l'hiver (manipulation, mise en œuvre)
7. Le comportement des assemblages (conception et mise en œuvre bien pensées) en zones sismiques
8. Leur faible conductivité thermique en fait un bon isolant thermique, et confère une excellente résistance et tenue au feu. Le bois est apprécié par les pompiers. La vitesse de carbonisation du bois est de 0,7 mm/mn.
9. Sa faible conductivité électrique, son magnétisme (cage de Faraday, électropollution, courants telluriques...)
10. Sa résistance aux acides et aux bases

11. L'odeur, l'ambiance, les couleurs (sans parler, en dehors de l'acte de construire, celui de conserver agréablement certains aliments et vins grâce au choix de la bonne essence associée à la bonne technique)

12. Le fait que la majorité des essences se travaille bien (aux niveaux : manuel, mécanique, collage, finitions)

13. La réparabilité plus aisée que pour certains autres matériaux (par exemple, planter un clou dans une poutrelle métallique n'est pas évident pour l'agriculteur !)

14. Un coût énergétique de fabrication globalement très peu élevé en comparaison à d'autres matériaux

15. Une recyclabilité intéressante (coût de destruction peu élevé, sauf pour certaines techniques qui placent le bois au niveau du polychlorure de vinyle)

16. Sa disponibilité (bois métropolitain, exotique, tropical, en respect de la convention sur la biodiversité signée à Rio, en 1992).

Le bois dans la construction est produit de culture et d'industrie. Il est un produit culturel qui s'inscrit aux registres des sens, des techniques et de l'architecture. Les diapositives montrent, entre autres, que les structures (ouvrages d'art, bâtiments recevant du public), s'inspirent des traditions artisanales et savantes de la charpente, et les prolongent en intégrant les performances industrielles (le bois et l'informatique rapprochent petites et grosses entreprises). Tradition et modernité. Les modes de travail dans les entreprises de transformation du bois ont peu changé. Ces évolutions touchent aussi bien les entreprises artisanales qu'industrielles. Les artisans traditionnels (compagnons, ébénistes), toujours proches de la matière, intègrent l'informatique et la commande numérique pour faciliter le tracé et le façonnage. Dans les entreprises industrielles, les ouvriers sont devenus des opérateurs qui touchent de moins en moins la matière, mais la maîtrisent, pour la production en série, par l'automatisation, la gestion de la qualité et l'innovation. De nouveaux métiers de façadiers, de « constructeurs bois » apparaissent, transformant le savoir-faire du charpentier en métier d'ensemblier-constructeur. Les bureaux d'études s'intéressent de plus en plus au bois du fait des progrès obtenus dans la connaissance de son comportement. Des logiciels de calcul pointus facilitent son utilisation. Grâce à ces progrès, on limite les approches empiriques pour optimiser la matière et améliorer encore ses performances, en particulier dans le bâtiment, le génie civil et l'aménagement. L'Eurocode 5 illustre ce phénomène. Le « bois » est un véritable matériau d'avenir.

ARBRES !

Des générations d'hommes naissent et disparaissent pendant votre vie. Vous êtes la sagesse face à la folie, la durée devant l'éphémère, le stable devant le passager...

UTILISATION DES GRANULATS DANS LES CONSTRUCTIONS EN VILLE

par Bernard du PEYROUX

I - QUELLE PART ONT LES MATÉRIEAUX DE CARRIÈRE ?

Du toit au sous-sol, en passant par tous les étages et même par des produits d'utilisation quotidienne, nous vivons immergés dans les produits de carrières. Qu'on en juge : Le toit est généralement couvert d'ardoises (ardoisières, Angers par exemple, de tuiles (argile), de tuiles béton (calcaires cimentiers et granulats), de béton en terrasse (calcaires cimentiers et granulats), de lauzes ou de schistes (matériaux locaux extraits). Les murs extérieurs sont en pierre de taille (carrières de roches dures), en béton (calcaires cimentiers et granulats), en brique (argile). Les cloisons sont quant à elles en parpaings ou en béton, le plus souvent recouvertes de plâtre, lequel suppose l'extraction de gypse ; quant aux cheminées leurs conduits sont souvent de brique et leurs beaux marbres proviennent de l'exploitation de calcaires marbriers. Mais, plus avant, le fer ou la fonte entrant dans la construction nécessite pour leur fabrication de la chaux ou des sables ; les tuyaux des réseaux d'assainissement sont en béton, les gaines de téléphone ou d'électricité qui longent, pour mieux les desservir, les pieds des immeubles, reposent sur des lits de sablons. La rue elle-même n'échappe pas aux carrières, qu'il s'agisse de ses assises ou de son recouvrement, sauf le bitume.

Et encore je ne parle pas du dentifrice, des produits antirides et de bien d'autres produits très quotidiens qui font appel largement aux matériaux de carrière. C'est dire à quel point la vie quotidienne baigne dans les produits issus de carrières sans même que nous nous en doutions. En a-t-il toujours été ainsi ? La réponse est, pour l'essentiel, positive. Boileau le disait bien, parlant justement d'une exception - les maisons troglodytes des coteaux de la Seine - : « l'habitant ne connaît ni la chaux ni le plâtre ... », et vous remarquerez qu'il n'a pas cité le bois... Certes, on objectera que les toits de bardots, cela existe, mais pas vraiment en ville ! De même, fera-t-on valoir que les éléments de structure des bâtiments, même à Paris, étaient fréquemment en bois, ce qui est vrai, mais que le remplissage de ces structures faisait appel aux produits de carrière. Seule l'ossature fut remplacée par du fer ou du béton. Je crains qu'il ne faille aller jusqu'à la frontière russo-finnoise pour contempler d'admirables églises construites tout bois. Il faut avouer que c'est somptueux mais tout à fait inadapté à la ville.

Qu'est-ce qu'une carrière ? Le Petit Robert indique qu'il s'agit du « lieu où l'on extrait des matériaux de construction ». Cela est juste mais doit être complété d'une notion réglementaire introduite par le Code minier en ses articles 2 et 3. Les carrières y sont définies par défaut comme les gîtes connus pour contenir des substances n'appartenant pas aux mines. Cette définition, très administrative, répond en fait à la notion d'utilité nationale d'une substance. C'est ainsi que sont classées « mines » les extractions de charbon, de potassium, de bauxite, de pratiquement toutes les substances métalliques, mais aussi de l'uranium, du soufre ou du béryllium. Bien que la liste précédente soit non exhaustive, les carrières constituent tous les autres sites d'extraction de matériaux. On y trouve pêle-mêle : la silice, le gypse, l'argile, les marnes, le sablon, les dolomies, les chaux, les calcaires cimentiers et, bien entendu, les granulats.

II - COMMENT UNE CARRIÈRE EST-ELLE EXPLOITÉE ?

Sans entrer dans de fastidieux détails, notons que l'ouverture d'une carrière est soumise à deux conditions : avoir la maîtrise du sol, soit en étant propriétaire, soit en tenant du propriétaire un contrat de cession du sous-sol ; obtenir une autorisation

administrative d'exploiter. S'agissant de celle-ci, l'évolution fut considérable ces dernières années ; quelques dates illustrent ce propos :

- 1810 : simple déclaration à la mairie du lieu d'exploitation ;
- 1970 : autorisation administrative nécessaire dans le cadre du Code minier, la non réponse de l'administration au bout de quatre mois emportant autorisation ;
- 1979 : nécessité d'une étude d'impact et d'une enquête publique pour les sites de plus de cinq hectares puis, en 1983, suppression de l'autorisation tacite.
- 1993 : une loi fait passer les carrières du Code minier aux Installations classées, donc du Ministère de l'Industrie au Ministère de l'Environnement. Le changement est considérable, puisque se substitue à une logique de protection de la ressource une logique de protection de l'environnement.

Une carrière peut être à ciel ouvert, ce qui est le cas le plus général, ou souterraine comme certaines carrières de gypse du Val-d'Oise par exemple. Leur durée de vie réglementaire est, au maximum, de trente ans mais, par le jeu de renouvellements successifs ou d'extensions, ce qui suppose de nouvelles autorisations obtenues dans les mêmes conditions que les autorisations initiales, ces durées peuvent être allongées. Il existe en France des carrières centenaires (ainsi la carrière de Voutré, grande pourvoyeuse de pavés parisiens).

Avant d'aborder les quantités mises en jeu chaque année, il semble utile de mieux caractériser les différences existant entre carrières selon le produit extrait, sa localisation géologique et sa valeur ajoutée :

- certains matériaux, comme par exemple le gypse ou la silice suffisamment pure pour fabriquer le verre, ont des gisements très localisés. D'autres, comme l'argile ou plus encore les granulats, sont extrêmement répandus, même s'ils peuvent être localement absents comme les argiles en Bretagne,

- la valeur ajoutée des produits de carrière, donc généralement leur marge, est extrêmement diverse. On passe de produits à très faible valeur ajoutée comme les granulats ou le sablon à des produits à très forte valeur ajoutée comme le plâtre (gypse) ou le verre (silice),

- enfin, la qualité d'un gisement de quelque nature qu'il soit varie très rapidement dans l'espace. Un calcaire marbrier peut être parfait en un lieu et inacceptable cent mètres plus loin. La géologie est souvent traîtresse mais il faut s'y plier !

III - COMBIEN Y A-T-IL DE CARRIÈRES EN FRANCE ?

Ces considérations mettent l'accent sur la répartition des carrières sur le territoire. Lorsqu'il s'agit de matériaux de forte valeur ajoutée ou, plus encore, à gisement très localisé, les produits finis peuvent supporter des transports importants et c'est sans difficulté que la France exporte du plâtre ou du verre. Par contre, si le matériau est banal, c'est-à-dire qu'il se rencontre partout, tels les granulats, la faiblesse de la valeur ajoutée combinée au coût du transport explique leur extrême dispersion et le nombre de sites d'extraction. Il est, de ce point de vue, intéressant de noter que le coût d'une tonne de granulats double son prix après un transport camion de 40 km en moyenne !

D'après les chiffres donnés par le Ministère de l'Environnement, il existait au 31 décembre 1994, 8 860 carrières toutes natures de matériaux confondues dont 3 631 de roches massives, 3 708 d'alluvionnaires en eau ou hors d'eau et 1 521 autres. Si l'on tient compte des carrières qui ne sont pas en activité et de celles pour lesquelles

existent plusieurs arrêtés préfectoraux, on peut retenir comme chiffre approximatif 4 000 carrières de granulat en activité et, environ, 2 000 carrières d'autres matériaux.

Qu'est-ce qu'un granulat ?

Le granulat est un ensemble de grains de dimensions comprises entre 0 et 80 mm (norme AFNOR). Il en existe deux grandes catégories :

- les granulats naturels issus de roches meubles ou massives. Ils ne subissent aucun traitement autre que mécanique. Ils représentent 97 % des granulats consommés

- les granulats de recyclage. Ils proviennent, soit de la transformation thermique des roches et déchets (schistes houillers, laitiers de hauts fourneaux, scories d'aciéries, mâchefers), soit du traitement de rebuts de démolition d'ouvrages divers en béton.

Dans les roches meubles, la part principale revient aux alluvionnaires exploités en eau (environ 45 % du total), c'est-à-dire exploités dans les lits majeurs des cours d'eau qui les ont, au cours des temps géologiques, transportés, concassés puis déposés. Ces extractions laissent place, sauf remblaiement, à des plans d'eau. D'autres roches meubles, d'origines diverses, y compris alluvionnaires, sont également exploitées. Il s'agit de terrasses alluviales, de chailles, de sables pliocènes, d'argiles à silex, etc. Elles présentent l'intérêt d'être exploitées à sec, donc sans perturber la nappe phréatique. Les roches massives (environ 48 % du total) proviennent à part égale de calcaires et de roches d'origine éruptive ou métamorphique (porphyre, quartzite, basalte, diorite, etc.).

Combien en produit-on ?

Chaque Français consomme quotidiennement, dimanches et jours fériés inclus, 17 kilos de granulat, ce qui représente 350 millions de tonnes produites et consommées annuellement. Au *hit parade* de la consommation c'est, en volume, le premier produit consommé, après l'air et l'eau toutefois. Selon les carrières, le tonnage extrait annuellement varie de quelques dizaines de milliers de tonnes à 4 ou 5 millions de tonnes, étant précisé que ce sont les carrières de roches dures qui connaissent les plus forts tonnages.

A quoi servent ces granulats ?

La moitié environ est utilisée par la route, un quart par le génie civil (terrassements et remblais de toutes sortes), le dernier quart pour le bâtiment. Il n'est pas neutre d'observer que sur 85 millions de tonnes consommés par le bâtiment en 1994, l'entretien des bâtiments anciens en a utilisé 54. En regardant non la destination des granulats mais la nature d'emploi des granulats, on s'aperçoit que le béton représente 35 %, dont le cinquième pour les produits en béton (tuyaux par exemple). A titre indicatif, un pavillon consomme 150 tonnes de granulat, un hôpital ou un lycée, 4 à 6 000 tonnes, un kilomètre d'autoroute ou de T.G.V. près de 30 000 tonnes.

- Silice	5 à 6 millions de tonnes
- Sablons	3 à 4 millions de tonnes
- Chaux	3 millions de tonnes
- Argile	6 à 7 millions de tonnes
- Gypse	5 à 6 millions de tonnes
- Calcaires cimentiers	20 millions de tonnes
- Calcaires industriels	15 millions de tonnes

Le bois, matière première indispensable pendant des siècles pour constituer l'ossature des bâtiments, a cédé la place au dix-neuvième siècle au fer puis, essentiellement au vingtième siècle, au béton. Outre le problème économique lié au coût de la construction, ce recul est surtout lié en ville à l'économie du mètre carré construit. En effet, la hauteur des immeubles est directement liée au problème de la résistance de la structure et à sa légèreté. Dans cette compétition, le béton l'a, pour le moment au moins, remporté sur tous les autres matériaux.

TABLEAU N° 1

Le transport des matériaux

mode transport	total marchandise France	matériaux de construction	granulats
- Fer	38,8	5	2,1
- Eau	5,9	2,4	2
- Route	174,9	26,3	14
Total	219,6	33,7	18,1

milliards de tonnes-kilomètres selon le mode de transport et le produit (1995)

mode transport	granulats transportés (Mt)	pourcentage
- Fer	10,8	3 %
- Eau	20,6	5 %
- Route	350	92 %
Total	382	100 %

millions de tonnes de granulat transportées annuellement (1995)

FIGURE N° 1

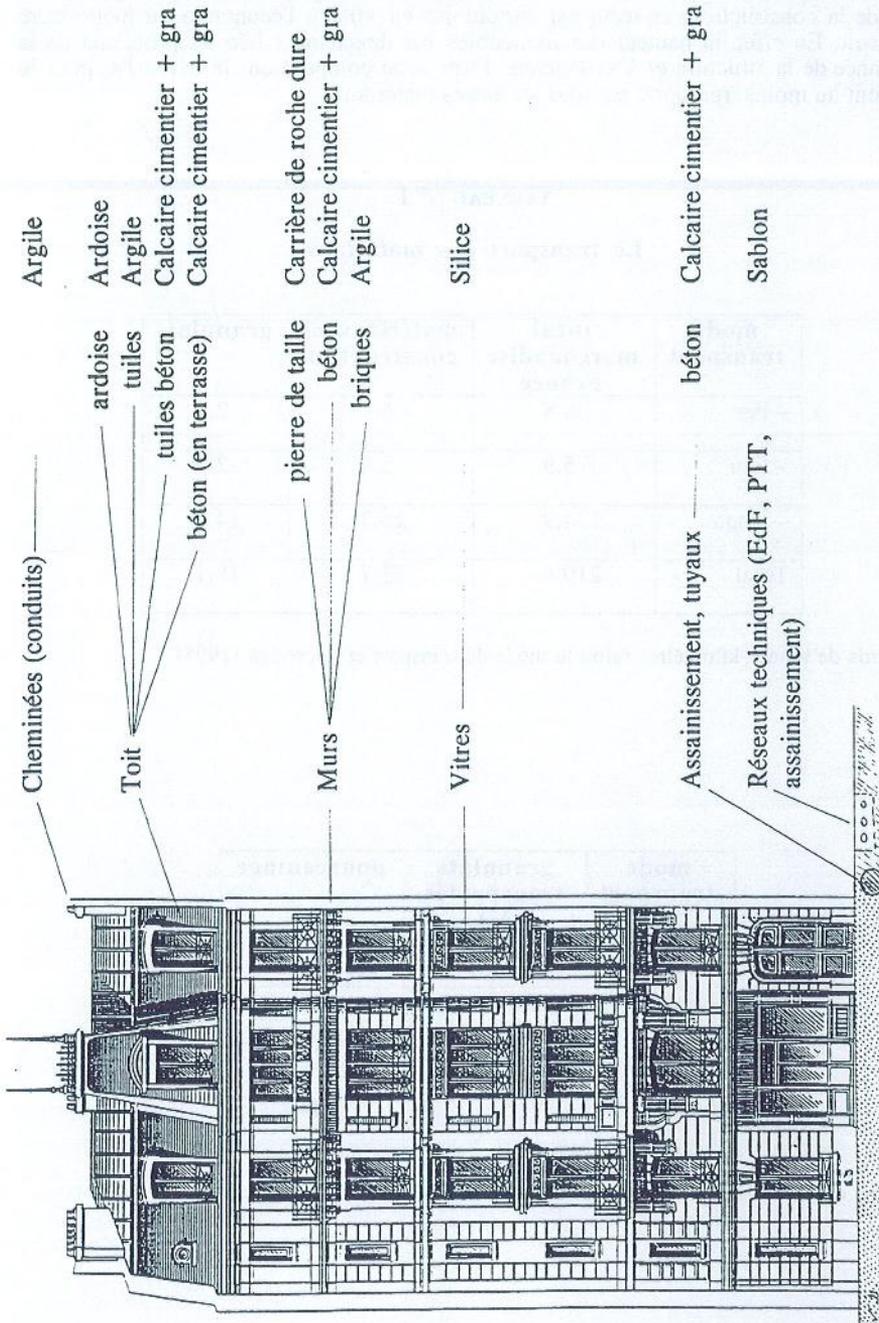
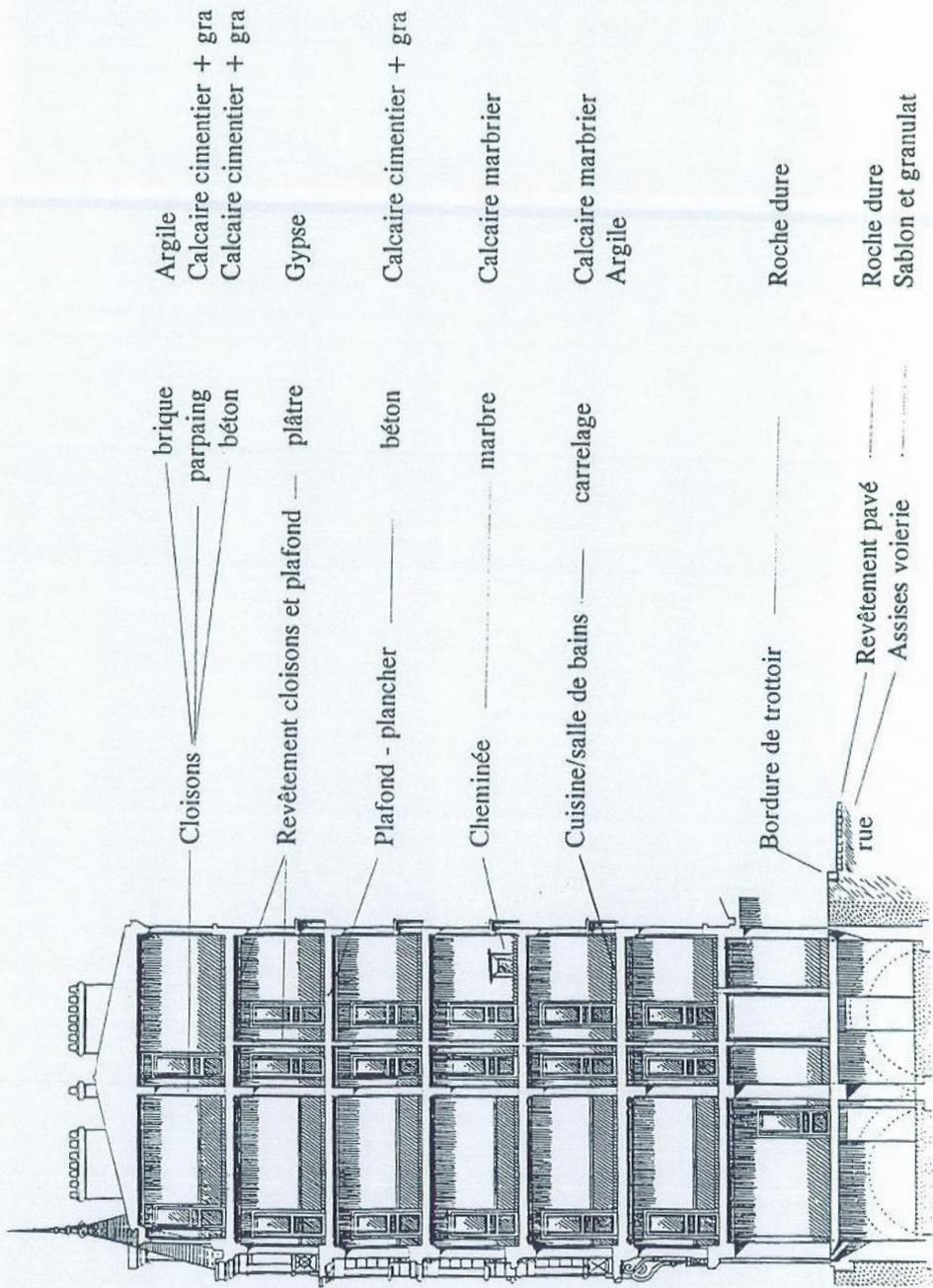


FIGURE N° 2



DEUXIÈME PARTIE

**LE BOIS-MATÉRIAU :
SES CONCURRENTS, SES UTILISATIONS**

**MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION, MISE EN ŒUVRE ET LOGIQUE
LA NORMANDIE, XVIIIe-XIXe SIÈCLES**

par Francis COURPOTIN

I – TECHNIQUES DE CONSTRUCTION EN BOIS : CONCURRENCE

L'existence de cette concurrence est la question que se posent au milieu du XVIIIe siècle les intervenants à l'acte de construire. Car si la construction est conçue par un architecte et exécutée par un entrepreneur, les matériaux peuvent échapper au choix de l'un comme de l'autre ! Quand le matériau est imposé, les entrepreneurs privilégient l'économie et un coût de main d'oeuvre revu à la baisse. Au fil du temps, le choix des matériaux devient un véritable enjeu. On peut se demander s'il n'y a pas là lutte d'influence entre marchands de matériaux pour écouler leurs produits. D'autant qu'au XVIIIe siècle, les produits utilisés dans les bâtiments ne sont pas encore standardisés, au contraire du XIXe siècle, où les formes seront répétitives, à l'intérieur comme à l'extérieur du bâtiment. A ce moment-là, il est possible de construire sur grandes dimensions et de manière répétitive et de faire du sur mesure pour de petits immeubles. Mais, pour le charpentier du milieu du XIXe siècle, les traditions demeurent ancrées dans la paroisse. C'est ainsi qu'à la Saint Joseph, patron des charpentiers, les membres de cette profession se réunissaient pour baptiser les nouveaux charpentiers. La coutume résiste encore au début du XXe siècle.

Pourtant, hommes de tradition mais aussi hommes de progrès, les charpentiers sont confrontés à leur temps. Ils évoluent dans leur savoir ou dans leur mise en oeuvre, et se frottent à la concurrence des constructeurs étrangers et aux directives des ingénieurs. Quant à leur travail, il est habituel que les bois employés jusque vers 1870 soient normands : ils provenaient des forêts domaniales de Roumare et de la forêt verte et étaient livrés en grumes. Pendant la morte saison, de janvier à mars, les compagnons équarrirent les grumes qui, l'été, seraient débitées par des scieurs de long originaires de Bois-Guillaume et de Notre-Dame-de-Bondeville. Après 1875, on vit apparaître des scieries mécaniques mais le sciage à la main subsista chez les petits charpentiers jusqu'à la guerre 1914. C'est aussi vers 1875 que l'art de la charpente se transforme par l'emploi du bois du Nord. Puisque ces bois arrivaient directement par bateaux ou par trains, prêts à être mis en oeuvre sous forme de poutres, bastings et madriers. Dès lors les charpentes - dont l'assemblage se fait avec des boulons - sont plus légères et deviennent d'un usage courant dans les constructions à rez-de-chaussée pour filatures et tissages mécaniques. Pour comprendre la mutation des hommes et les tensions qui s'exercent dans l'utilisation des matériaux, nous prendrons deux témoignages : un livre et une construction.

II – UN LIVRE « L'ART DE LA CHARPENTERIE » : UNE MÉMOIRE RÉÉCRITE

Dans le passé, le charpentier est très présent à Rouen, ville aux cent aiguilles de charpentes (clochers, beffrois, épis, oriels, chapelles, tours, portes monumentales). Comment oublier le maître charpentier Robert Becquet, constructeur de la fameuse flèche de la cathédrale construite en 1544 et détruite en 1822 alors qu'on ignore celui de Martin Deperrois initiateur du projet ? Le passé du bois sera mal connu tant que les hommes de l'art n'auront pas été référencés et leurs oeuvres répertoriées. Seuls, peut-être, les annuaires peuvent délivrer les listes de patentés de la capitale normande. Traces tangibles d'une communauté active et nombreuse, bien que ses membres n'aient occupé la scène historique que le temps de réaliser une oeuvre

exceptionnelle. Une structure de grande dimension, seule, immortalise son auteur. De ce point de vue, on est loin des humbles carcasses de maison à pans de bois et encore relativement proche des « coques renversées » protégeant la nef des églises. Ainsi, chaque métier a la possibilité de vivre son âge d'or et de voir pour toute une génération effectuer des œuvres de charpenterie uniques, avec des maîtres ouvriers de renom.

Ouvrier de la grande cognée, le charpentier possède de très anciens statuts renouvelés sous Henri IV en 1597. C'est pourtant un métier en progrès même si une nouvelle version statutaire en limita l'action en 1652. Après cette stabilisation, fin XVII^e siècle et début XVIII^e, le charpentier doit combattre pour défendre ses prérogatives. En 1739, de nouveaux textes sont rédigés et sanctionnés par Louis XV. En la circonstance, les charpentiers rouennais veulent montrer l'importance de leurs travaux et offrent en 1740 au Roi un livre *L'Art de la charpenterie enrichi de figures*, écrit et réalisé par Monsieur Jousse, charpentier angevin, comme l'affirme l'historien rouennais Ouin Lacroix en 1850. C'est pour le Roi et pour nous *a fortiori* un précieux témoignage sur l'état de l'art du charpentier et des connaissances sur le bois en royaume de France. Mais il se peut que nos braves charpentiers n'en aient possédé aucun exemplaire. Car un tel livre n'avait pas vocation à entrer dans les maisons des charpentiers locaux. A Rouen, il ne figure d'ailleurs pas dans aucun inventaire après décès de charpentiers. Dans leur cour derrière leur chantier : des bois et des outils certes ! Mais dans leur demeure, nulle trace du livre.

Cette énigme révèle que le livre comme outil de progrès n'est pas forcément partagé par ceux auxquels il est destiné. En parcourant le livre de Mathurin Jousse, nous découvrons que l'auteur n'est pas Charpentier, même s'il est Angevin ! C'est, en fait, l'architecte ingénieur de la ville de La Flèche. On peut cependant admettre que *L'Art de la Charpenterie* soit un ouvrage issu du monde des charpentiers à défaut de nouvelles preuves. Pourtant, il semble possible de conceptualiser la technique sans travailler directement le bois comme matière. Ce livre fut d'ailleurs une rareté avant d'être une curiosité puisqu'il fallut le reproduire maintes fois en l'enrichissant pour lui donner une large diffusion. L'état de l'art présenté à Louis XV se veut encyclopédique et montre les parties cachées de bâtiments (dont des formes de charpentes complexes). Une réédition de 1751 corrigée et augmentée pour l'Artillerie et le Génie présente les machines les plus nécessaires à un charpentier.

Cette réédition n'était pas la première puisque son auteur Monsieur de La Hire, en avait fait imprimer une version corrigée en 1702. La Hire était membre de l'Académie d'Architecture. En prenant possession du livre, il en dessaisit à la fois l'architecte et le lecteur-cible, sensé être le charpentier. Il réimprima le document grâce aux planches de dessins retrouvées. A la lecture des commentaires de Jousse, il effectua des rajouts de dessins et de textes. « Comme il m'a paru, dit-il, que ce livre, quoique fort étendu, ne contenait pas tout ce qui regarde la charpenterie, j'y ai ajouté des planches en taille douce où sont représentés presque tous les outils et les principales machines qui servent dans cet art, dont on donne les explications. Tels sont les engins, les chèvres à poulies et à écharpes, les vérins, les rouleaux sans fin ou tours tarières, les vindas, le singe, le cric, les sonnettes et la grue. On y trouvera aussi une dissertation sur les bois, avec une manière abrégée pour en faire le toisé et ce qu'ordonnent à leur égard les us et coutumes de Paris. J'y ai joint encore la description et les figures de toutes les pièces qui entrent dans la construction des pans de bois, avec la manière de faire le toit brisé dit à la Mansard et quelques ponts particuliers. Et une description exacte et représentation d'un moulin à vent et à l'eau ». En résumé et pour avertir ses lecteurs, La Hire estime que : « la charpenterie est une des plus considérables parties des bâtiments, et, l'on ne peut apporter trop de soin à son exécution puisqu'il arrive souvent que des édifices tombent en ruine par l'ignorance et la malfaçon des charpentiers, ou, par la négligence et le défaut

de lumière de ceux qui ont été chargés de veiller à leur conduite. On ne saurait donc trop recommander l'étude de cet art aux jeunes qui se destinent à cette profession et même à tous les architectes et entrepreneurs ».

III – LE RÔLE DU LIVRE DANS LA TRANSMISSION DES SAVOIRS

A l'époque de sa sortie, le livre permit de répondre aux marchés de travaux d'importants immeubles et d'en saisir ainsi les difficultés. Écrit vers 1650, c'est un traité élémentaire sur la charpenterie. Il concerne un lectorat averti, et il a soin de transmettre les connaissances pratiques acquises par l'auteur, par l'intermédiaire de dessins avec légendes. L'auteur architecte Mathurin Jousse cherche à immortaliser le savoir-faire des charpentiers mais exprime des solutions constructives plus que des méthodes de travail et des fonctionnements d'équipe. Il donne « des exemples de solutions pour bâtir et enfin des préceptes fondés sur la géométrie ». L'auteur La Hire, professeur d'architecture, corrige les imperfections du début et ajoute de nouvelles pièces de charpenterie. Il veut montrer que cet art échappe au simple charpentier dès qu'on utilise un abrégé des cinq ordres d'architecture. Même en mettant l'architecture à la portée des ouvriers, celle-ci éloigne la maîtrise du savoir des praticiens du bois. Ignorant le livre produit de l'écriture et de la gravure, le charpentier ne saurait transmettre ses connaissances. A ce stade, la charpente héritée de l'époque gothique semble éradiquée du traité, puisqu'on n'y parcourt que des images de pièces montées sur des bâtiments classiques. Pas d'encorbellement, pas de croix de Saint André, pas d'écharpe. Par effet de taille, c'est l'exceptionnel qui remplace le quotidien et par dérive du discours, c'est le traité parisien qui efface la pratique provinciale.

La table des matières de ce traité montre une variété d'objets et de bâtiments : charpente des corps de logis, pavillons et autres édifices; charpentes d'une tour demi-ronde à deux épis, d'une porte de ville ou de château, d'un pavillon ayant des petites tours aux quatre angles, d'un bâtiment irrégulier, d'un château ou forteresse, d'un jeu de paume et autres bâtiments sur poteaux, d'un palais ou d'une halle, d'une maison de campagne pour loger beaucoup de personnes, d'un colombier, d'un dôme carré, d'une église, d'un cloître; charpente d'un escalier à deux noyaux à vis commune. La manière de faire un escalier à pans coupés, à quatre noyaux; l'explication du pont de bois de Scamoizzi... Ouvrage ambitieux donc ! A l'opposé des préoccupations de l'aspirant charpentier qui, pour devenir maître charpentier, doit connaître le trait et la difficile question des assemblages de bois.

On est loin également d'un texte qui répondrait aux questions relatives aux différents modes régionaux de construction et aux droits de bâtir sur tel ou tel terrain. On est cependant proche de la commande très à la mode des structures en clocher. L'art du charpentier y excelle. Mais au XIXe siècle, le charpentier devra se convertir dans l'édification de structures en shed, de trames en poteaux associés au métal des poutres, ou dans l'assemblage de fermes mixtes bois-métal. Le livre accompagne le savoir du charpentier, il ne le précède pas. Et pourtant, cette position bien assise est déjà nuancée avant la fin de l'Ancien Régime. Tant et si bien que les ingénieurs, architectes, mécaniciens, charpentiers d'hydrauliques modifièrent plusieurs fois par apprentissage le cours de leur savoir. Les règles issues de la tradition furent bientôt remplacées par les règles de la résistance des matériaux. En quoi un livre peut-il mettre en péril le savoir des charpentiers ? Si l'on considère que les charpentiers n'ont aucunement participé à sa rédaction et à son illustration, cela signifie que leur art se vulgarise en dehors de leur présence. Aussi ne peuvent-ils plus continuer à dominer la construction urbaine normande dès lors qu'est minée l'assise de leur corporation. Une opportunité s'offrait à eux pour redynamiser leur carnet de commande : la construction d'usines.

IV – UNE CONSTRUCTION « USINE » : LOGIQUE DE BÂTISSEUR

Si le charpentier est confirmé dans son métier par une pratique étendue dans les objets urbains, il doit parfois se remettre en cause. En se rapprochant des faubourgs industriels, le charpentier doit s'adapter. Parfois déstabilisé par les demandes que formule le client, il prend l'initiative d'une solution technique, sa crainte permanente étant le non-paiement pour adaptations successives. Ainsi se construisirent des usines prototypes aux abords de la ville gothique. L'usine Quesney-Moulin du Houllme en est un exemple. C'est une usine de la banlieue de Rouen, quoi de plus banal ! Certes, il n'y a pas lieu de s'extasier sur l'objet mais bien plus sur le chantier. Une cohabitation franco-irlandaise n'est pas sans conséquence dans les choix techniques et l'utilisation des matériaux. Le 24 pluviose an X, un marchand de Rouen, Jean Jacques Quesney-Moulin, cède à bail à William Putnam Mac Cabe, artiste mécanicien originaire de Belfast en Irlande, un emplacement où jadis était un moulin à papier et la chute d'eau qui le faisait mouvoir, avec ses circonstances et dépendances. Quesney bailleur doit élever une construction sur la mesure et le long de la rivière qui la traverse. Ce sera une usine « anglo-française ». C'est l'architecte de la ville de Rouen (ancien commis de l'ingénieur des ponts et chaussées Pioche De La Vatte) qui règle cela. Jean-Louis Bouet, architecte, conduit les travaux d'un corps de bâtiment à rez-de-chaussée et surmonté de deux étages avec combles.

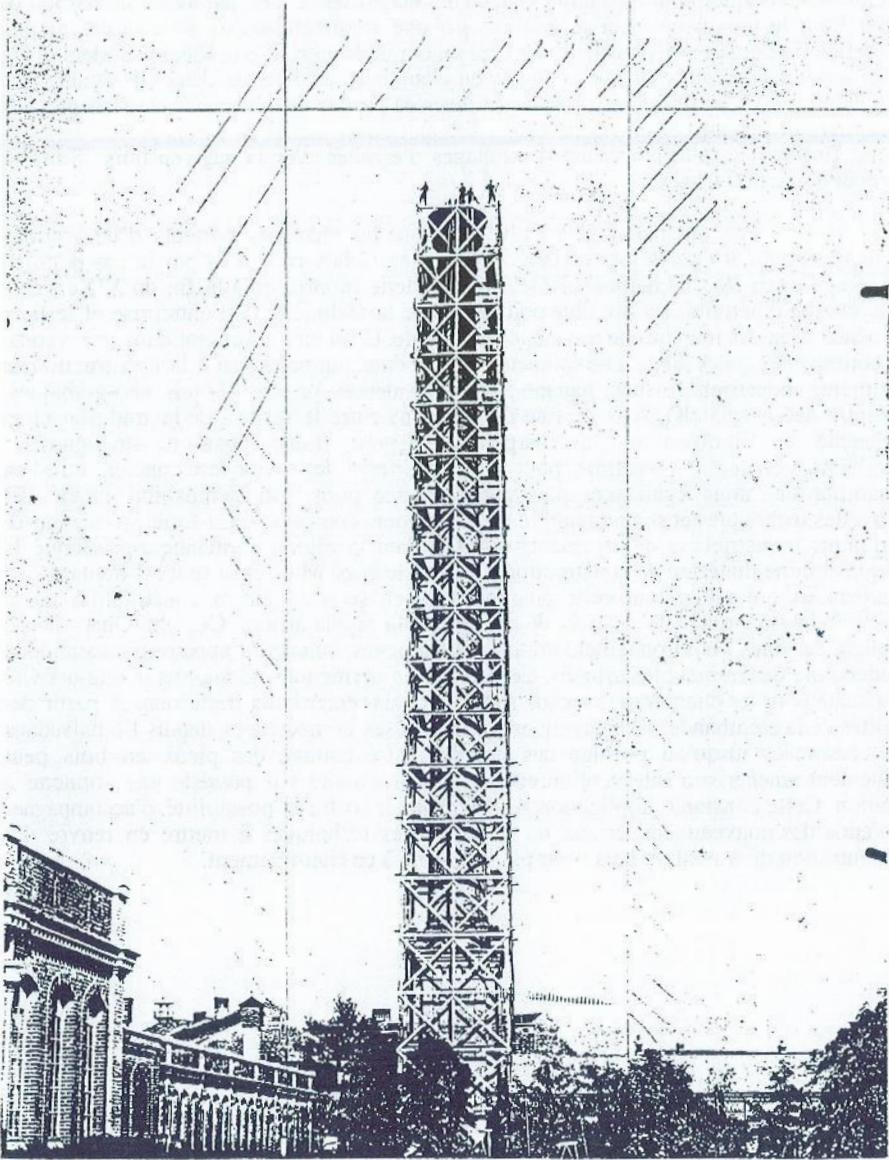
Le bâtiment devait être construit en briques, depuis le dessus des fondements jusqu'au premier plancher, et les deux étages supérieurs jusqu'au comble lui-même en pans de charpente et plâtre, le comble lui aussi en charpente. Le tout est distribué de portes croisées et d'une ou deux rangées de poteaux, de fond en comble, au milieu de la largeur du bâtiment. Les poteaux restent espacés les uns des autres selon une distance fixée par l'architecte. On remarque, en ce tout début du XIX^e siècle, que les murs au rez-de-chaussée (40 cm d'épaisseur) sont en briques. Tous les bois de charpente des pignons, façades, planchers et combles sont choisis sur « échantillons convenables à ces fortes constructions ». Les croisées de ce bâtiment, à œil de bœuf ou imposte, et les châssis à tabatières dans les combles s'entendent « faits en bois de chêne et vitrées en verre d'Alsace, les dits châssis ferrés, les croisées ouvrant à coulisse ». Les portes sont prévues en bois de sapin ferrées de manière solide et fermant à clé. Les quatre planchers, y compris celui du rez-de-chaussée, sont réalisés en bois de sapin de pays ou de Hollande, « bien assemblés à rainures et languettes ». Tous les poteaux intérieurs, sommiers et solives des planchers, sont travaillés par passage à la varlope sur toutes les faces apparentes et les arêtes abattues. L'ordre et la direction en incombe à l'architecte lors de la construction. En marge de ce bâtiment, l'escalier est construit dans une cage qui doit forcément être élevée hors œuvre de celui-ci et, pour cela, placée à l'endroit déterminé et au choix du preneur. Tandis que tout l'intérieur de la construction est destiné à être latté et décoré en plâtre sur les faces et pignons, avec toute la propreté et solidité que peut permettre un tel travail.

Il est entendu entre les parties, preneur et bailleur, que ce travail d'élévation d'usine sera irréprochable afin que le preneur ne puisse s'en plaindre. Et sous condition qu'aucun travail ne soit à y faire pendant les vingt-sept années de jouissance, hormis l'entretien dont les bâtiments de nouvelle construction sont susceptibles de recevoir chaque année. Cette construction à usage de manufacture fut terminée en ventôse an XII. Cela n'alla pas sans mal, puisque les plans et devis de l'architecte ne furent pas respectés. La forme et la distribution du bâtiment sont modifiés en fonction des choix techniques du preneur. Le plâtrier, le charpentier et le menuisier ne peuvent que constater l'écart entre le projet et la réalisation. De ce fait, des contestations ne

tardent pas à éclater. Pour le maçon plâtrier, les murs de fondations passent de 64 cm à 1,30 m. A l'origine, seuls les angles « encoignures » devaient être en pierre et le reste en cailloux. En fait, tout fut fait en pierre ! Toutes les cotes ont donc bougé. Le mur du premier étage qui devait être en charpente a été fait en briques. Il fut également créée une cheminée en briques pour réchauffer chacun des étages de la fabrique avec du charbon de terre. Pour le menuisier, cela se traduisit par une augmentation de 80 croisées et une superficie importante de planchers. Le charpentier de Rouen, Pierre Fleury, déclara quant à lui avoir réalisé au total quatre étages en charpentes au lieu de deux. Il signale que l'Irlandais Mac Cabe lui a fait rechanger diverses parties de planchers et démonter les sommiers et poteaux dans chaque étage. Il a fait aussi passer de fortes pièces dans les murs. Enfin, il a fallu construire deux étages d'escalier avec la cage en bois. Soit un surcoût de 12 000 francs.

En conclusion, il est révélateur que les chantiers porteurs d'innovations techniques fussent choisis par certains charpentiers. Mais ce n'était pas le cas de tous. En effet, l'exemple du charpentier Dévillois Villette montre qu'à la fin du XIXe siècle une réunion d'activités est possible pour accroître la technicité de l'entreprise et le taux de pénétration des marchés de travaux de charpente. C'est en s'affirmant dans une variété de commandes que Villette, entrepreneur de charpente, put participer à la construction de bâtiments industriels (usines, hangars) et de résidences privées (hôtels néo-gothiques, manoirs néo-normands). A la croisée des chemins entre le respect de la tradition et la recherche de l'innovation, le charpentier dispose d'une position stratégique : interlocuteur reconnu et estimé pour avoir conservé le savoir-faire ancien utile en réhabilitation, mais également partenaire apprécié pour son acquisition rapide des nouvelles techniques et son adaptabilité aux chantiers complexes. La forte production de bâtiments industriels et de logements ouvriers dans la région normande a privilégié la brique comme matériau de construction plus que le bois. Mais c'est tout à l'honneur des charpentiers qui intégrèrent cette prédominance en se réservant la construction de la structure interne, qui resta en bois de même que la façade arrière. Ces chantiers, qui ne priment pas dans l'environnement urbain des banlieues, amènent l'appauvrissement de la modénature des immeubles urbains. Cependant, ils permettent de maintenir une activité constante pour les charpentiers locaux sans pour cela renier leurs traditions. A partir des réalités de la commande, le charpentier transporte ses compétences depuis l'échafaudage des cheminées jusqu'au boisage des tranchées. Le battage des pieux en bois peut également amener son intervention en tant que prestataire s'il possède une sonnette à mouton. Cette constante implication sur les chantiers offre la possibilité d'accompagner la venue des nouveaux matériaux ou de nouvelles techniques à mettre en œuvre. La mécanisation du travail du bois n'est pas étrangère à ce cheminement.

FIGURE N° 1



LE BOIS, LE MÉTAL, CONCURRENCE ?

par Frédéric SEITZ

L'analyse des conditions dans lesquelles le bois et le métal sont concurrents pour la constitution des charpentes de bâtiments – en France – nécessite d'aborder en préambule les problèmes posés par le feu. Ce sont en effet les incendies qui ont conduit les constructeurs à préférer le métal au bois au XIXe siècle et – paradoxe de l'histoire des matériaux – à limiter de manière drastique l'emploi du premier dans l'architecture française au début des années 1970. Ceci implique que soient présentées les raisons expliquant les situations particulières où le métal est lui-même utilisé dans le domaine du cadre bâti.

I – LA PART DU FEU DANS LA SUBSTITUTION

L'essor formidable de l'emploi du métal dans tous les secteurs de l'architecture et de la construction a pour premier fondement les questions d'incendie. Parce que le bois brûle – alors qu'il est largement utilisé jusqu'au XIXe siècle pour faire des charpentes de toutes sortes mais aussi pour la confection des ponts – les constructeurs vont lui substituer le métal, matériau incombustible.

Victor Louis dessine, dès la fin du XVIIIe siècle, une charpente métallique pour les toitures de l'actuel théâtre du Palais Royal et de l'actuelle Comédie Française, qui révèle une grande originalité constructive. François Joseph Bélanger remplace, au début des années 1810, la charpente en bois de la Halle au blé à Paris par une charpente métallique, selon un principe constructif si proche de celui des charpentes traditionnelles que l'architecture doit faire exécuter des modèles – en bois ! – pour guider le fondeur dans la réalisation des éléments métalliques. Les ingénieurs – civils et militaires – contribuent, quant à eux, largement au développement des recherches sur les structures métalliques. Cette démarche de substitution d'un nouveau matériau au bois trouve un prolongement récent avec la reconstruction à l'identique du bâtiment du Parlement de Bretagne à Rennes, entièrement détruit par un incendie en 1994, dont la toiture sera supportée par une charpente constituée de matériaux contemporains remplaçant la charpente en bois antérieure.

Les mêmes problèmes d'incendie vont, au XXe siècle, annihiler brutalement les efforts plus que centenaires déployés par certains constructeurs pour favoriser l'emploi du métal dans l'architecture et la construction françaises. La destruction par le feu, dans la soirée du 6 février 1973, du collège Édouard Pailleron à Paris, construit selon un modèle industrialisé utilisant largement des structures métalliques, a causé dans le pays un émoi si grand – vingt personnes, des enfants pour la plupart, ont péri dans cette catastrophe – que le métal a presque immédiatement disparu du secteur de la construction publique et privée et que le renforcement des réglementations de sécurité qui s'en est suivi a rendu son usage durablement très difficile, voire impossible. Si les questions d'incendie expliquent les premières tentatives d'emploi architectural du métal, d'autres phénomènes ont entraîné l'évolution de l'utilisation de ce matériau dans les secteurs du bâtiment et des travaux publics.

Certains sont liés au changement des programmes des constructions, d'autres au matériau lui-même, d'autres enfin au mode de production que son emploi réclame. Les besoins économiques et sociaux, du XIXe comme du XXe siècle, ont généré des édifices nouveaux qui se différencient des constructions des périodes

précédentes, par leurs dimensions notamment. Les expositions universelles, les nouveaux modes de production industrielle, les nouvelles méthodes du commerce, les nouvelles techniques de transport exigent que soient réalisés des palais, des gares, des usines, des grands magasins, des marchés couverts, etc. dont les dimensions sont nécessairement très grandes et les volumes couverts très vastes. Les matériaux traditionnels – comme la pierre ou le bois – ne permettent plus, du simple fait de leurs performances techniques, de répondre à la demande des maîtres d'ouvrage. Dès lors, le métal trouve dans ces programmes de construction un champ d'application nouveau sous la forme d'éléments structurels d'abord simples, puis complexes comme, par exemple, les structures multidirectionnelles actuelles.

II – LA PART DES QUALITÉS DU MÉTAL DANS LA SUBSTITUTION

Le recours au métal s'est d'ailleurs opéré avec d'autant plus de facilité que ce matériau, du fait de sa structure physique, présente des avantages qui prennent toute leur importance, compte tenu de l'appréhension des risques environnementaux dans les sociétés occidentales contemporaines.

– Le premier est la bonne tenue des constructions métalliques aux séismes, parce que leur masse est faible, également eu égard aux qualités physiques du métal. L'acier résiste bien aux sollicitations qu'amènent dans les structures, les renversements de moments et la substitution des tractions aux compressions, mais aussi aux sollicitations horizontales qui créent des efforts tranchants dans les poteaux. L'acier est en outre un matériau ductile, c'est-à-dire ayant une grande capacité de déformation sans perte de résistance.

– Le second est la possibilité de récupérer les métaux qui entrent dans la fabrication des bâtiments lorsqu'ils sont démolis ou démontés, de les fondre et de les recycler dans des fours électriques. La composition des produits obtenus de cette manière peut être modifiée, pour une utilisation nouvelle, selon des procédés identiques à ceux utilisés pour les aciers à l'oxygène. Matériau indéfiniment recyclable, le métal participe à la sauvegarde des ressources naturelles et de l'environnement.

Au-delà de ces deux caractéristiques, le métal est surtout un matériau qui permet de développer facilement et largement les techniques d'industrialisation du bâtiment, qu'il s'agisse de préfabriquer, en usine, des séries d'éléments propres à un chantier, des séries d'éléments standards qui pourront être stockés ou des séries industrielles complètes. Par réaction à l'industrialisation dite « fermée » qui a consisté, dans des périodes comme celle de la reconstruction après la Seconde Guerre mondiale, à préfabriquer des parties de bâtiments, voire des bâtiments entiers, un grand nombre d'architectes, mais aussi de maîtres d'ouvrages et d'entrepreneurs, se sont tournés vers un nouveau type d'industrialisation qualifiée, par opposition, d'industrialisation « ouverte ». Destiné à produire des éléments modulés et disponibles sur catalogues, ce nouveau type d'industrialisation a entraîné une plus grande qualité des produits fournis, une amélioration des conditions de travail, une plus grande rapidité d'exécution des ouvrages, une réduction importante des coûts – toutes les fabrications, quel que soit le procédé utilisé, voient leur prix en effet diminuer quand augmente le nombre de pièces identiques... une diversification de la qualité architecturale des édifices réalisés grâce à des combinatoires plus ou moins complexes. De nombreux procédés ont été élaborés selon ce principe, d'où le rattrapage, dans les années 1960-1970, du retard considérable pris en matière d'équipements, notamment scolaires, universitaires et sportifs.

Le métal présente également des avantages économiques évidents du point de vue du coût global. L'industrialisation permet, en effet, de réduire la durée des

chantiers et donc d'obtenir un gain de temps par usinage des pièces de structures en ateliers, alors que les travaux de terrassement et de fondation sont réalisés parallèlement. De plus, lorsque la structure d'un édifice est composée d'éléments de dimensions précises et normalisées, le montage est simplifié, comme l'est celui des éléments de second œuvre également standardisables, réalisant ainsi un gain de main d'œuvre. A ceci, s'ajoute un gain de matière : la légèreté des ossatures métalliques limite l'importance des fondations des édifices. Enfin, en cours d'exploitation, un bâtiment construit en métal peut être transformé facilement, en fonction des besoins de ses utilisateurs. Après son utilisation, il peut être démonté – et non démoli. Ces opérations sont souvent génératrices d'économies, surtout si les matériaux peuvent être récupérés et revendus.

Tous ces phénomènes ont naturellement eu des conséquences quant à l'évolution de la qualité architecturale des édifices. La nouveauté et la diversité des espaces et des volumes générés par des systèmes ouverts et non figés, la netteté et la franchise des solutions proposées, la pureté de l'aspect des éléments constitutifs des structures, la qualité et la souplesse d'utilisation des lieux bâtis, sont caractéristiques des édifices construits en métal. Largement développées par de nombreux architectes dans les pays étrangers – comme Mies Van der Rohe aux États-Unis par exemple – elles se retrouvent dans la production française de constructeurs contemporains comme Édouard Albert, Paul Depondt, Jacques Kalisz, Marcel Lods, Jean Prouvé. Les avantages qu'offre le métal dans la construction n'ont cependant pas suffi à l'imposer de manière significative – comme dans d'autres pays européens, voire aux États-Unis – dans ce secteur d'activité en France, au XXe siècle.

III – LES FREINS APPORTÉS À L'EMPLOI DU MÉTAL

Quatre types de résistances ont pu être soulignés.

– Les premières résistances – et peut-être les plus fortes – sont de nature culturelle : le système des Beaux-Arts contribue à faire de la France le pays de la tradition en matière d'architecture. Cette tradition a un impact sur l'emploi des matériaux, et le métal – considéré comme matériau de l'éphémère – a subi et subit encore la concurrence féroce de la pierre, du béton, voire du bois – matériaux refuges. Les maîtres d'œuvre – architectes ou ingénieurs – parce qu'ils trouvent difficilement, dans le haut enseignement technique français, les formations qui leur rendraient familier l'emploi des métaux, hésitent à se lancer dans des études de hautes technologies qu'ils maîtrisent de manière incomplète.

– Les secondes sont de nature technique : elles regroupent les questions d'incendies déjà évoquées, et celles de la corrosion. La nécessité d'assurer la protection permanente des métaux explique en partie les réticences à leur emploi – notamment dans un pays comme la France où l'entretien du patrimoine architectural est rarement intégré dans les prévisions financières des maîtres d'ouvrage. On observera néanmoins que maintes structures métalliques, mal entretenues, n'ont subi aucun dommage majeur, sur de nombreuses années.

– Les troisièmes sont de nature économique : le métal a la réputation – scientifiquement infondée – d'être plus cher que d'autres matériaux. Les analyses menées sur cette question ont montré qu'il n'en était rien.

– Enfin, on ne saurait oublier le rôle des acteurs de l'architecture et de la construction autres que les maîtres d'œuvre déjà évoqués. Les pouvoirs publics, les producteurs de matériaux, les entrepreneurs ont contribué – volontairement ou involontairement – à limiter le développement de l'architecture métallique. Les premiers ne conçoivent aucune politique spécifique dans le domaine des matériaux, favorisant

alternativement les uns ou les autres en fonction de la conjoncture. Les seconds n'ont pas ressenti le besoin de promouvoir le métal dans l'architecture tant que d'autres marchés leur étaient favorables, et ce n'est qu'en période de crise économique que les maîtres de forge et aujourd'hui Usinor-Sacilor ont entrepris d'engager – trop tard souvent – la promotion de leur production auprès des constructeurs de bâtiments. Les entrepreneurs, quant à eux, ont manifesté beaucoup de frilosité, non seulement sur le plan institutionnel, au travers de leurs chambres syndicales, mais aussi comme constructeurs, leur structures souvent encore artisanales allant à l'encontre d'une production industrielle caractéristique de la construction métallique.

Ces quelques réflexions rapidement exposées qui proposent une relecture historique de l'architecture contemporaine, révèlent la complexité du processus de la production architecturale. Elles montrent également que l'étude de la place des matériaux dans le secteur du bâtiment pose des problèmes dépassant largement la question de leur concurrence. D'ailleurs, cette concurrence ne s'exerce-t-elle pas plutôt entre ceux qui ont la charge de les produire et de les mettre en œuvre ?

**MATÉRIAUX D'ENVELOPPE ET ENVIRONNEMENT : VERRE, MÉTAL ET BOIS
(XIX^e ET XX^e SIÈCLES)**

par Jean-Pierre TRAISNEL

Les théories hygiénistes, dominantes au XIX^e siècle et dans la première moitié du XX^e siècle, ont favorisé l'utilisation du verre et du métal dans l'enveloppe extérieure du bâtiment. Recherche de la lumière, rejet des miasmes et de la vermine, lutte contre l'incendie : tout a concouru au succès de la façade légère, qui se substitue peu à peu au mur de maçonnerie et au pan de bois. Au temps de l'écologie urbaine, verre et métal avouent leur faiblesse face aux nécessités environnementales. Le bois, comme le métal - ou le verre, plus récemment -, est à la fois structure et enveloppe. Mais ses qualités thermiques en font un matériau plus adapté au contrôle climatique. La comparaison entre les produits intègre aujourd'hui le coût énergétique et le coût environnemental favorables au bois.

I - LE MÉTAL ET L'HYGIÈNE DE LA PAROI AU XIX^e SIÈCLE

Dès la fin du XVIII^e siècle, les sinistres importants qui frappent les charpentes en bois ouvrirent la voie à la construction métallique : le Théâtre français, détruit par le feu en 1781, est reconstruit avec un comble en fer forgé en 1787-1790 par l'architecte Victor Louis. Le choix des matériaux de construction répond également aux exigences croissantes de l'hygiène (apporter l'air et la lumière aux locaux), puis de la thermique (garder la chaleur). Pour Patte, en 1769, la salubrité de l'air que l'on respire dans les logements importe autant que celui de la ville. Dès la fin du XVIII^e siècle, on tente d'enfermer les puanteurs en rendant les parois hermétiques aux miasmes : le succès du plâtre s'affirme, ainsi que celui des tuiles vernissées, pour recouvrir les cloisons des hôpitaux. Les exigences - il faut nettoyer, drainer, rendre étanche - visent la paroi du logement autant que l'espace de la rue. En 1838, le médecin Piorry établit la liste des mesures que la salubrité réclame : renonçant aux corps poreux qui retiennent l'eau dans les murs, autant qu'aux matériaux bons conducteurs du calorique parce qu'ils rendent l'habitation froide, il s'en remet à la paroi en menuiserie pour séparer l'appartement de la pierre humide. Piorry préconise d'établir un courant d'air dans l'intervalle, bien qu'il puisse attirer les rats et les souris, autre cause d'insalubrité.

Les solutions viennent bientôt d'Outre-Manche. Henry Roberts chasse l'humidité des locaux par le renouvellement régulier de l'air de l'habitation, ainsi que celle des murs, construits en briques creuses, comme les planchers et les combles. Les maisons édifiées à Bloomsbury Hall, bien éclairées, aérées, sèches et propres, s'apprentent aussi à affronter le feu. D'autres réponses se font jour grâce aux nouveaux matériaux et produits que l'industrie livre dans le premier XIX^e siècle : briques creuses, feuilles de zinc ou de tôle cannelée couvrant des hangars entièrement métalliques, verre à vitre commun. Ces matériaux commencent à être appréciés pour leur capacité, sinon à protéger de la chaleur et du froid, du moins à s'opposer à la migration de l'humidité et à la progression des miasmes. Les matériaux de remplissage légers deviennent ainsi les compléments de la construction à ossature métallique. Aux côtés de la colonne de fonte, dont le règne s'étend de 1820 à 1880 environ, ou du pan de fer, plus tardif, la tôle de fer puis la tôle d'acier se déploient dans des applications toujours plus nombreuses. Si les poutrelles creuses, les solives de planchers, les pièces de charpente s'obtiennent encore largement à partir de tôles assemblées par rivets à la fin des années 1830, la tôle est couramment employée dans l'art de la serrurerie pour croisées et serres. Après son emploi en couverture, depuis le terme du XVIII^e siècle, la tôle devient un des

constituants de la façade du bâtiment : paroi métallique de la maison mobile, persienne pliante de la fenêtre ou rideau métallique de la devanture des boutiques.

Tandis que la construction parisienne accélère la progression du pan de fer, d'abord côté cour, puis, au cours des décennies 1870-1880, en façade sur rue, la paroi métallique, expédiée depuis l'Angleterre, la Belgique et la France dans les régions tropicales pour l'établissement des colons, ouvre la voie au panneau de façade légère celui du XXe siècle. De 1825 à 1840, le bois domine encore dans le marché des constructions mobiles. Les ateliers de John Manning façonnent à Londres des maisons en bois faciles à assembler, et destinées aux émigrants établis en Australie. L'architecture de villes entières – San Francisco, Johannesburg – est entièrement marquée par les structures préfabriquées. L'enveloppe de la maison mobile devient métallique après 1840 : les qualités de mobilité, de légèreté et de solidité sont partagées à égalité par le métal et par le bois, mais celui-ci est jugé trop inflammable. En outre, le risque de pourrissement est d'autant plus grand que le bois est employé sans avoir été assez séché et protégé. Les colons rejettent la simple paroi de bois, en raison de ses faibles qualités thermiques, ainsi que la double paroi, plus isolante mais abritant la vermine. En 1832, la firme anglaise Walker propose des bâtiments démontables à couverture de tôle ondulée, celle-ci progressant plus rapidement après 1840. Mais la tôle de fer exposée au soleil rend l'intérieur aussi chaud qu'un four de boulanger !

La solution la plus employée par les ingénieurs belges, Delavelaye en 1843 et Romand en 1846 pour l'hôpital du Camp Jacob à la Guadeloupe, est la double paroi. Si le parement extérieur est métallique, le parement intérieur est rendu moins conducteur de la chaleur (lattis enduit de mortier, planches de bois ou maçonnerie de briques). Romand inaugure le principe de la paroi ventilée, repris par ses successeurs, Mongé (1861) et Danly (1888), pour la double paroi de tôle. Le capitaine du génie Tollet (1871) puis les ingénieurs Bernard et Labussières (1893) associent également la lame d'air de la paroi à la ventilation des locaux, mais renoncent à la paroi métallique, trop sensible au rayonnement solaire. Le bois garde néanmoins ses partisans, même parmi les plus zélés promoteurs du fer : l'ingénieur C.-A. Oppermann, qui publie sous le patronage du Comité des Forges le *Propagateur des travaux en fer* (de 1867 à 1869), construit en 1877 des bureaux mobiles à ossature bois. Il offre quatre degrés d'isolation thermique pour les panneaux de remplissage : une simple cloison de bois, une double cloison de bois formant lame d'air ou remplie de varech tassé dans l'intervalle, enfin une maçonnerie de briques à plat. Les faiblesses du contrôle climatique avouées par la paroi et la couverture de tôle ne découragent pas les constructeurs : la construction tropicale demeure, jusqu'au XXe siècle, le laboratoire où s'élaborent les dispositifs climatiques de l'architecture de verre et de métal (figure n° 1).

II – LA FAÇADE LÉGÈRE DU XXe SIÈCLE

La production de tôle progresse rapidement en France : de 100 000 tonnes en 1869, elle atteint 440 000 tonnes en 1922, puis deux millions de tonnes en 1954 (dont une part importante est exportée). L'OTUA, Office Technique pour l'Utilisation de l'Acier, créé en 1928 par les sidérurgistes français, est chargé de faire connaître les nouvelles utilisations de l'acier, particulièrement dans la construction. Les maisons métalliques représentent un premier débouché, avant les panneaux de façades du mur-rideau. En 1927, la Société des Forges de Strasbourg ouvre un concours pour la production de maisons métalliques. L'économie par rapport à une construction semblable en briques est estimée à 30 %. Deux ans plus tard, la société propose de doubler intérieurement les plaques de tôle au moyen de panneaux de fibres de bois agglomérées au ciment. La paroi à multiples lames d'air, qui domine ce secteur jusqu'à

la fin des années 1920, cède rapidement la place à la paroi isotherme enfermant de la sciure de bois ou un panneau de liège : on estime que quatre centimètres de ce matériau, destiné au départ à l'insonorisation, oppose la même protection calorifique qu'un mur de briques de trente-cinq centimètres d'épaisseur. Le bois, exclu autrefois en vertu de l'hygiène - la crainte des miasmes et de la vermine - revient pour assurer le contrôle thermique dans la paroi.

Parallèlement aux recherches menées par Jean Prouvé, pour isoler les panneaux de tôle de la Maison du Peuple de Clichy (E. Beaudouin et M. Lods, architectes, 1936-1939), l'ingénieur Pierre Mesland conçoit un panneau de façade indépendant du système constructif, panneau réalisé au sein de l'entreprise Grames. Ce panneau de 45 millimètres d'épaisseur, qui comporte deux faces en tôle d'acier de 15/10 de millimètres d'épaisseur, est clos comme une boîte de conserve et enferme le matériau isolant, du copeau de bois. Des milliers de panneaux d'une surface d'un mètre carré ont été fabriqués entre 1930 et 1938 pour des groupes scolaires. Le procédé de paroi décrit par Mesland est l'ancêtre des façades légères construites en série au cours des années 1950-1960. L'isolation thermique, ici assurée par des laines minérales, ou par des mousses plastiques (polystyrène, polyuréthane, etc.), limite la sensation d'inconfort due à la paroi froide et tente de s'opposer - les ponts thermiques sont encore nombreux - à la condensation. Si la paroi préfabriquée des maisons métalliques ne satisfait guère la clientèle à la Reconstruction - Mesland lui-même déplore la pauvreté architecturale des premières réalisations -, elle apporte néanmoins une réponse renouvelée aux critères d'économies d'énergie, perceptibles dès avant les chocs pétroliers de la décennie 1970.

III - LE VERRE ET LA QUESTION ENVIRONNEMENTALE

Depuis le second XIXe siècle, l'acier et le verre se sont répandus largement dans la façade en satisfaisant aux conditions de l'hygiène et, non sans peine, à celles du contrôle climatique. Le verre a séduit les hygiénistes autant que les réformateurs sociaux : à l'orée du XXe siècle, la maison hygiéniste est en verre. Le vitrage, inaltérable, se transforme en plaques de verre perforées qui se substituent aux grillages de ventilation. Les larges vitrages s'imposent dans la lutte contre la tuberculose. Dans l'architecture de la transparence, le verre et l'acier deviennent les symboles de l'époque machiniste. Les contraintes thermiques ont favorisé le développement des éléments de protection des parois vitrées : fermetures extérieures, persiennes, jalousies, volets roulants, qui arrêtent de 90 à 94 % du rayonnement solaire, pare-soleil à lames de bois, stores vénitiens, etc. L'acier, l'aluminium et le bois - aujourd'hui les matériaux plastiques, polyesters, P.V.C., etc. - se partagent ce marché. Naguère de verre, la solution de l'écran associé au vitrage est appliquée, depuis les tropiques, par Jean Prouvé - pour la maison de Niamey, en 1949-1951 -, par Raymond Ayoub, enfin par Guy Lagneau au Musée des Beaux-Arts du Havre (1958-1961), par Jean Nouvel à l'Institut du Monde arabe à Paris (1981-1987). L'aluminium évince l'acier inoxydable, grâce à son comportement sélectif face au rayonnement solaire : son coefficient d'émission dans le rayonnement infra-rouge atteint 0,7, alors qu'il n'absorbe que 20 à 30 % du rayonnement incident. Dans les diaphragmes de la façade sud-ouest de l'IMA, l'aluminium se substitue au bois du moucharabieh, son modèle vernaculaire et hautement sophistiqué. Celui-ci n'est-il pas sur un véritable filtre environnemental qui contrôle les échanges (la vue, la lumière et l'air) entre les loggias et l'espace de la rue, au Caire, par exemple.

Selon le type de conception architecturale, l'emploi du verre peut conduire à des bâtiments « énergétivores » (c'est le cas des tours de verre du style international, qui nécessitent une installation de climatisation grande consommatrice d'énergie) ou, au

contraire, à des bâtiments satisfaisant les besoins en énergie (architecture solaire, mettant à profit l'effet de serre et, plus récemment, l'effet photovoltaïque). Mais les besoins en énergie de fonctionnement ne représentent qu'un élément dans l'ensemble des contraintes environnementales. Il faut tenir compte de la consommation de l'industrie des matériaux de construction, en combustibles et en électricité. Après une hausse continue durant près d'un siècle, la consommation d'acier fléchit en Europe occidentale. Le mouvement est perceptible depuis plus d'une décennie. Alors que la consommation de « fer » était de 65 kg par habitant en France en 1867, contre 300 en Angleterre et 117 en Belgique, elle s'élevait à 200 kg d'acier par habitant de l'Europe occidentale en 1950, puis à 400 kg en 1983. En France, elle plafonne aujourd'hui à 200 kg par habitant. Cette réduction se conjugue à une économie continue de consommation d'énergie dans la sidérurgie : il fallait cinq tonnes de coke pour produire une tonne de fonte au début du XIXe siècle, deux tonnes vers 1900, et moins d'une tonne depuis les années 1970. Si la consommation annuelle d'énergie de la sidérurgie en France s'élève à 7 ou 8 Mtep (millions de tonnes équivalent pétrole), elle n'est que de 1,6 Mtep pour l'industrie verrière (en 1991) et, sur la base d'un chiffre moyen de l'ordre de 600 kWh par tonne de bois, de 1,7 Mtep pour l'industrie du bois. Les consommations de ces trois industries dépassent largement le secteur de la construction : le bâtiment utilise annuellement 4 millions de tonnes d'acier, soit le tiers de la production française totale. De même, la consommation de bois de construction est estimée à 20 millions de mètres cubes en 1990 sur un total de 52,7 millions de mètres cubes, soit 39 % de la récolte nationale. Le bilan énergétique est positif pour ce matériau car il contribue à la production d'énergie, à hauteur de 9 à 10 Mtep, dont 85 % pour le chauffage dans l'habitat individuel.

Tous les secteurs de l'économie consomment de l'énergie et, par voie de conséquence, sont la source de gaz polluants (plus de 30 % des émissions de SO₂, 40% des émissions de poussières, et près de 25 % des rejets de CO₂ pour l'industrie, procédés industriels compris). Si les transports représentent la plus importante cause de pollution, et la seule nettement en croissance, le secteur résidentiel et tertiaire consomme plus de 40 % de l'énergie (plus de 80 Mtep), ce qui se traduit par un afflux de polluants et par des rejets de CO₂. A ce titre, après une vingtaine d'années de mesures réglementaires visant principalement, pour le secteur résidentiel et tertiaire, à limiter la consommation d'énergie pour le chauffage des bâtiments (par l'introduction en 1974 du coefficient de déperditions globales, G, exprimé en watt par mètre cube et degré Kelvin, W/m³ K) et à lutter contre le gaspillage énergétique, la France s'est engagée à réduire l'émission de gaz à effet de serre dans l'atmosphère (principalement le dioxyde de carbone CO₂, le protoxyde d'azote N₂O, le méthane CH₄ et les chloro-fluoro-carbones). La production des matériaux de construction dégage aussi du CO₂, ainsi que d'autres gaz polluants dont les effets sont néfastes. On développe aujourd'hui le concept d'écoproduit par l'analyse de l'impact environnemental d'un produit de l'industrie du bâtiment tout au long de son cycle de vie : depuis l'extraction des matières premières jusqu'à l'élimination des déchets (résidus du chantier et démolition du bâtiment).

Deux critères sont retenus : la consommation d'énergie et le facteur d'émission. Pour le premier critère, on analyse le coût énergétique total d'un logement moyen, d'une durée de vie estimée à 40 ans : les 10 MWh par mètre carré d'énergie primaire se répartissent en 87 % pour le fonctionnement (chauffage, eau chaude, cuisson, besoins d'électricité spécifique) et en 13 % pour la fabrication des matériaux et la mise en œuvre sur le chantier (tableau n° 1).

TABLEAU N° 1
Répartition du coût énergétique d'un logement moyen en France.

Type de besoins	Coût énergétique en MWh/m ²
- Chauffage	5,2
- Eau chaude, cuisson, électricité	3,5
- Fabrication des matériaux	1,1
- Chantier	0,2
Total	10,0

Deux postes intéressent les matériaux de construction : la consommation de chauffage et le contenu énergétique des matériaux (énergie consommée pour leur fabrication depuis leur extraction). Le bois est faiblement conducteur de la chaleur, mais ne peut concurrencer les matériaux isolants dérivés de la pétrochimie : la conductivité thermique de ces mousses - polyuréthane, polystyrène, etc.- est quatre à cinq fois plus faible que celle du bois (0,03 à 0,04 W/m.K, contre 0,12 à 0,20 W/m.K). En revanche, le contenu énergétique du bois est un des plus faibles parmi les matériaux de construction, ainsi que les facteurs d'émission en gaz responsables de l'effet de serre ou de la pollution atmosphérique (tableau n° 2).

TABLEAU N° 2
Contenus énergétiques et facteurs d'émission en CO₂, NO_x et SO₂,
des matériaux de construction

Matériaux	Énergie finale (kWh/t)	CO ₂ (kg/t)	NO _x (g/t)	SO ₂ (g/t)
- Acier	6 500	1 900	5 300	13 700
- Béton	190	45	100	200
- Verre	3 900	850	1 300	1 130
- Polystyrène	24 800	6 250	11 000	10 800
- Bois	640	150	230	200

(D'après TRIBU, *Étude des impacts environnementaux des bâtiments*, ADEME, mars 1994.)

Le bois n'a que des atouts à faire valoir dans cette concurrence entre matériaux de construction, à condition de résoudre la question des émissions de COV (composés organiques volatiles) présents dans les peintures, vernis, enduits et colles, qui menacent également la qualité de l'air.

FIGURE N° 1
Maisons en fer livrées aux colonies

D'après *La Construction moderne*, 19 août 1893, p. 549-550.

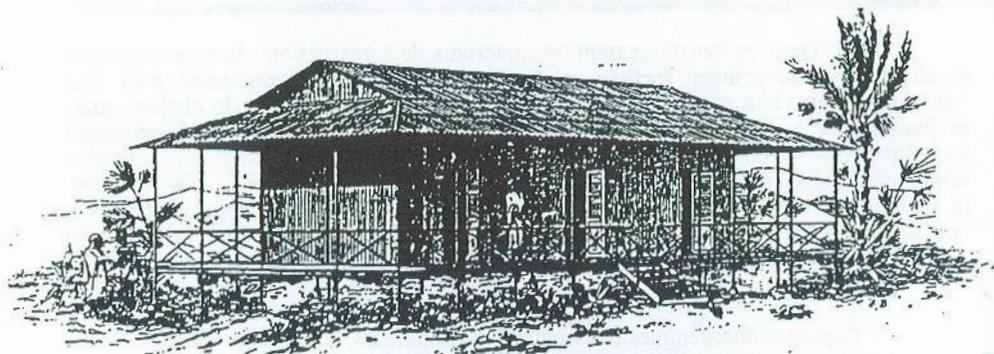


Fig. 8. — Comptoir des Intérêts coloniaux. — Maison au Grand-Bassam.

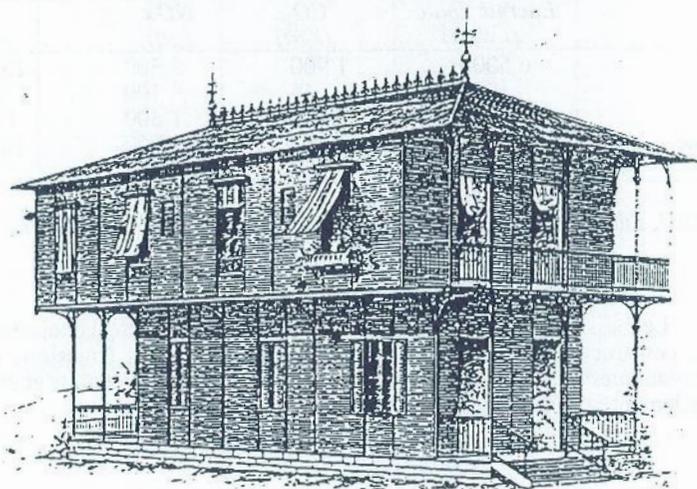


Fig. 9. — Maison de M. Wolles (Fort-au-Prince). Haïti.

BOIS ET FORTIFICATION URBAINE
BICÊTRE ET SUCY-EN-BRIE (VAL-DE-MARNE)
1850-1900

par Martine BECKER

La seconde moitié du XIX^e siècle connut d'importantes évolutions techniques, tant dans le domaine de la construction que dans celui, plus spécifique, de l'artillerie. Comment les ouvrages militaires, en particulier défensifs, se sont-ils adaptés à ces bouleversements ? Le bois a-t-il toujours sa place dans ces constructions ou est-il totalement abandonné au profit des nouveaux matériaux qui font leur apparition ? Des éléments de réponse sont fournis par l'étude des dernières fortifications parisiennes édifiées entre 1848 et 1878. Longtemps restée ville ouverte, Paris fut dotée en 1848 d'une enceinte fortifiée continue, doublée d'une ceinture de quinze forts. Colossal effort de protection qui s'est avéré insuffisant face aux progrès très rapides de l'artillerie et de la puissance de feu : en 1870, les canons allemands pouvaient bombarder Paris par dessus la ligne des forts, trop proches de la capitale pour la protéger. Une deuxième ceinture de forts fut donc construite entre 1872 et 1878, pour compléter la protection de Paris. Les techniques de construction de cette deuxième génération de forts avaient quelque peu évolué pour mieux résister aux nouveaux obus. Cette évolution est perceptible lorsque l'on compare des forts tels Bicêtre et Sucey-en-brie, toujours debout et en bon état malgré quelques changements. Par contre, ce que ces deux ouvrages permanents, faits pour durer, ne peuvent montrer, est la part importante du bois dans la fortification passagère : elle a disparu puisque telle était sa destinée.

I - LA DISPARITION DU BOIS DANS LA FORTIFICATION PERMANENTE

La fortification permanente est une fortification maçonnée où le bois ne semble guère, à première vue, avoir de place. De fait, la faible part réservée au bois dans les forts de première ceinture disparaît totalement à l'étape suivante, période charnière qui marque le passage de la fortification classique à la fortification moderne, enterrée et blindée. La simple comparaison des plans et des coupes des deux forts montre une simplification des formes - adaptées à des tirs à longue portée plutôt qu'à des tirs rapprochés - et un enterrement marqué de l'ouvrage aussi bien que des casernes construites dans le fort.

L'analyse des archives du Génie pour la chefferie du Sud - dont dépend le fort de Bicêtre - entre 1850 et 1869 permet d'estimer la part du bois dans les fortifications de la première ceinture. L'ouvrage, fortifié en lui-même - murs d'escarpe et de contrescarpe, bastions, casemates -, est construit en « *moellons de pierre dure et mortier hydraulique* », couvert d'un parement de meulière, consolidé par d'importants remblais de terre. Il ne comporte pas de bois. Tout au plus trouve-t-on des palissades sur le chemin couvert de la contrescarpe. En revanche, toute reprise de maçonnerie ou toute construction supplémentaire (et *a fortiori* l'édification initiale) nécessite l'emploi d'une charpente en bois, dont l'usage et le coût de location à une entreprise figurent dans les devis. Au fil des notes et autres apostilles, on voit que l'absence de bois est parfois considérée comme source de désagréments. Le rapport d'un officier en 1865 incrimine aussi les sols en bitume des casemates mal aérées dans le développement des « *affections scorbutiques* » chez les hommes qui y sont logés. En effet, leur humidité corporelle n'étant pas absorbée par un sol trop étanche et froid qui provoque une importante condensation, l'air devient vite malsain, ce qui est au XIX^e siècle la source

de tous les maux. La solution préconisée est alors de couvrir le bitume d'un plancher de bois, capable de réguler température et humidité. On se doute que ces travaux n'ont pas résolu le problème du scorbut, mais ont amélioré le confort des hommes obligés d'y vivre. Ce souci hygiéniste, caractéristique du siècle dernier, se manifeste dans les armées comme ailleurs et se traduit par des améliorations sensibles du confort des soldats entre 1865 et 1870, alors que les travaux défensifs étaient souvent ajournés pour utilité controversée. Plus essentiel encore était l'usage abondant du bois dans les magasins à poudre, où il était primordial de lutter contre l'humidité (plancher double en frise de chêne, portes pleines en chêne doublées, charpente en chêne et lattis de sapin...). Alors que les remparts et les organes essentiels du fort étaient à l'épreuve des tirs, les casernes de Bicêtre, comme celles des autres forts de même génération, étaient des bâtiments ordinaires où le bois tenait une large place : trois étages, une charpente de bois recouverte de tuiles, des huisseries, des planchers et des escaliers de bois... Ces casernes furent des cibles parfaites pour les tirs allemands en 1870 : les charpentes n'étaient certes pas prévues pour résister aux tirs de la nouvelle artillerie rayée et, à la fin du siège, rien ne restait des bâtiments. Dès la fin du conflit, les quelques vestiges de ces casernes furent vendus et rasés. Aussi les casernes de la génération suivante ont-elles été enterrées sous un massif afin d'être plus discrètes et plus solides. Les charpentes disparaissent, remplacées par des voûtes maçonnées, les planchers sont de briques, les portes en fer. A Sucy, seul le pont-levis est partiellement en bois. Le bois est même abandonné pour les magasins à poudre, enterrés pour plus de sécurité. Pour éviter l'humidité redoutée, la poudre est enfermée dans des coffres en cuivre, comme sur les bateaux. Si l'on se contente de cette première approche, le bois semble avoir été jugé inadapté aux nouvelles exigences de la fortification.

II – LE BOIS IRREMPLAÇABLE POUR LA FORTIFICATION DE CAMPAGNE

Mais la défense d'une ville ne consiste pas seulement en ouvrages permanents en dur. Ceux-ci ne sont que l'ossature d'un système plus complet et plus complexe, mis en place dès qu'un danger se précise ou qu'un conflit se déclare. Ces ouvrages de fortification passagère ou de campagne sont conçus en même temps que les forts permanents, même s'il ne sont réalisés qu'en cas de besoin : ils font donc partie intégrante d'un système fortifié. Leur architecture est prévue, ainsi que les matériaux à utiliser. Redoutes, batteries blindées, traverses, galeries, abris, palissades, palanques, font largement appel au bois qui reste, au XIXe siècle au moins, irremplaçable pour ses qualités de rapidité de mise en œuvre, de souplesse, sa capacité d'absorption des chocs... et que l'on trouve en abondance sur une grande partie du territoire français. On peut ajouter aussi les éléments de défense active que sont les divers pièges et obstacles dressés sur le terrain : abattis naturels, pieux d'arrêt, hérissons, trous de loup... pour lesquels on utilisait largement la ressource ligneuse locale. Ainsi, dans les secteurs stratégiques où le bois risque de faire défaut, l'armée mène souvent une politique de plantation pour s'assurer un minimum d'approvisionnement. Le bois vivant était donc prévu dans le système de fortification : des lois militaires prévoyaient la plantation d'arbres tant sur les glacis que le long des routes stratégiques ; le budget annuel alloué aux fortifications affectait des ressources parfois importantes au renouvellement et à l'entretien de ces arbres.

Ces plantations avaient deux raisons d'être :

- Elles étaient destinées à fournir le bois nécessaire à la fortification de campagne : dès qu'un arbre avait atteint sa taille adulte, il devait être abattu et son bois stocké dans les magasins du génie.

- Arbres et haies vives servaient à camoufler les ouvrages, les mouvements de troupes ou les effets des tirs ennemis. Mais sans entraver la vue ou les tirs, et amoindrir l'efficacité de l'ouvrage défensif. D'où une programmation minutieuse du nombre d'arbres et de leur emplacement.

Les prévisions budgétaires de la chefferie sud de Paris pour 1861-1862 font état de la plantation de 4500 arbres sur les glacis de ses cinq forts : deux rangées sur la crête des glacis et des plantations en quinconce sur les saillants. Plantations parfois difficiles : en 1867, la plupart des arbres sont morts ou souffrent - « *les remblais de calcaire pierreux* » qui constituent les glacis « *restent mauvais malgré les apports de terre végétale* » - et l'on déplore « *l'impossibilité de créer des bois de service* ». Ces documents ne donnent aucun renseignement sur les espèces plantées, le choix étant laissé à la discrétion du chef de place en fonction des conditions locales (sols, climat et ... prix). Le manque de bois et/ou son mauvais usage seront largement commentés lors de la guerre de 1870, en particulier par Viollet-le-Duc, engagé volontaire dans le Génie - à 56 ans. Il avait été chargé d'inspecter les ouvrages allemands après la capitulation française, pour en tirer des leçons et comprendre les raisons de la défaite.

Une longue description des ouvrages établis en peu de temps sur les positions hautes dominant Paris souligne que la supériorité allemande tenait à l'excellence du choix stratégique, de l'utilisation du terrain, aussi à la valeur des ouvrages de campagne, très enterrés et constitués de bois et de terre. Il déplore que les Français n'aient pas su en faire autant, que leurs travaux aient été désordonnés, personne n'étant d'accord sur la façon de procéder : « *les uns tenaient pour les ouvrages de maçonnerie avec blindages de fer, ceux-ci ne voulaient que remuer de la terre, ceux-là comptaient employer le bois comme soutien nécessaire* ». Les abris manquaient cruellement, exposant inutilement les soldats aux tirs comme aux intempéries, alors que les Allemands étaient beaucoup plus soucieux d'épargner les leurs. L'architecte et lieutenant-colonel du Génie en déduisit la nécessité d'utiliser largement le bois, seul matériau capable d'une mise en œuvre rapide et d'une efficacité certaine. Il cite pour exemple le seul ouvrage qui ait réellement été utile aux Français lors du siège, le seul qui ait mis en difficulté les Allemands : la redoute des Hautes-Bruyères à Villejuif.

Construit sur le modèle de Cavechia à Vérone, ce fort utilise largement la terre et le bois pour très peu de maçonnerie, tout en étant très judicieusement situé.

« ... les ouvrages de bois sont, dans la fortification, ce qu'il y a de meilleur, de plus solide et de plus aisément réparable. Des essais ont été faits pour mettre en œuvre le moellon et le fer pour les abris, les poudrières, les casemates. Ce moyen présente des inconvénients qui frappent toutes les personnes qui ont l'habitude des travaux. Des murs élevés en moellons n'offrent pas une cohésion suffisante pour résister à l'ébranlement qu'un projectile occasionne à un plancher composé de traverses de fer, soit rails, soit fers à T ; ou si le plancher résiste, par suite de sa rigidité, de son manque d'élasticité, il produit une violente secousse sur les têtes des murs et les écrase, les disloque, ou il s'effondre.... Dans ces travaux entrepris hâtivement, les maçonneries n'ont pas le temps de prendre et n'acquièrent aucune cohésion. Le bois, au contraire, par son assiette, son élasticité, sa légèreté, avec une résistance considérable, se prête merveilleusement à ces sortes d'ouvrages rapidement exécutés. Si l'on prétend employer le fer avec la maçonnerie pour les abris blindés, il n'en faut pas moins avoir recours au bois comme appoint indispensable ».

Curieusement, on voit que l'usage insuffisant du bois put être considéré comme une des causes de la défaite en 1870, de même que fut incriminé le mauvais usage stratégique des forêts.... même si, fondamentalement, c'est bien l'incurie des

dirigeants qui était soulignée. On voit une fois de plus que les liens entre bois, forêts et armées sont multiples. Cette fin de XIXe siècle est donc bien une période charnière en ce qui concerne l'usage du bois dans la fortification : d'une part, celui-ci disparaît des fortifications permanentes, de l'autre, il demeure inégalé pour les fortifications passagères. Ce que la guerre de tranchées démontra très largement dès 1914.

LE BOIS EN VILLE SUR LE CHEMIN DE LA RECONQUÊTE : EXEMPLES EN SUISSE

par Franz SCHMITHÜSEN

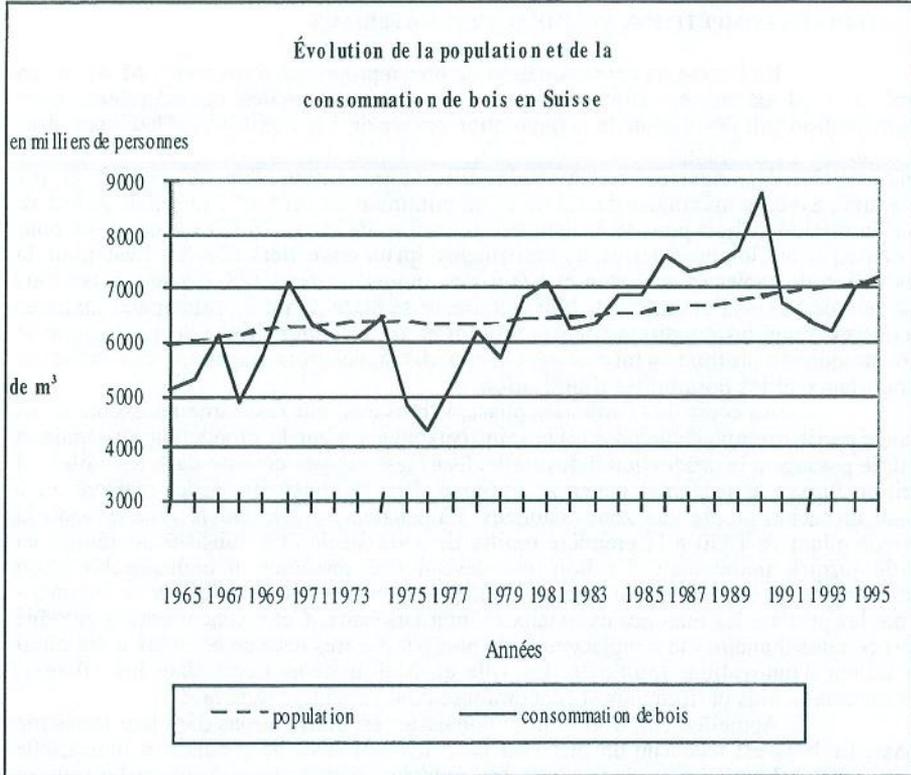
I - LE BOIS EN COMPÉTITION AVEC D'AUTRES MATÉRIAUX

En Suisse, la consommation de bois a progressé d'environ 5 M de m³ en 1960 à 7 M de m³ en 1995. Avec des variations annuelles considérables, cette augmentation suit l'évolution de la population passée de 5 à 7 millions d'habitants dans le même temps (graphique n° 1). Par conséquent, la consommation en équivalent de bois rond par tête d'habitant est restée stable. Elle tourne autour d'un m³ par an et par personne, avec un maximum de 1,3 m³ et un minimum de 0,75 m³. Le bilan global de consommation de bois pour 1995 indique qu'environ un tiers (38 %) est employé pour la construction, les meubles et les emballages, qu'un autre tiers (33 %) l'est pour la fabrication de papier et de carton et qu'un peu moins du tiers (28 %) sert à des fins énergétiques. Dans l'ensemble, le bois a conservé sa place parmi les principales matières premières, mais les conditions de son emploi et de sa compétitivité technologique et économique ont profondément changé. On peut distinguer trois étapes qui ont influencé l'importance et les possibilités d'utilisation.

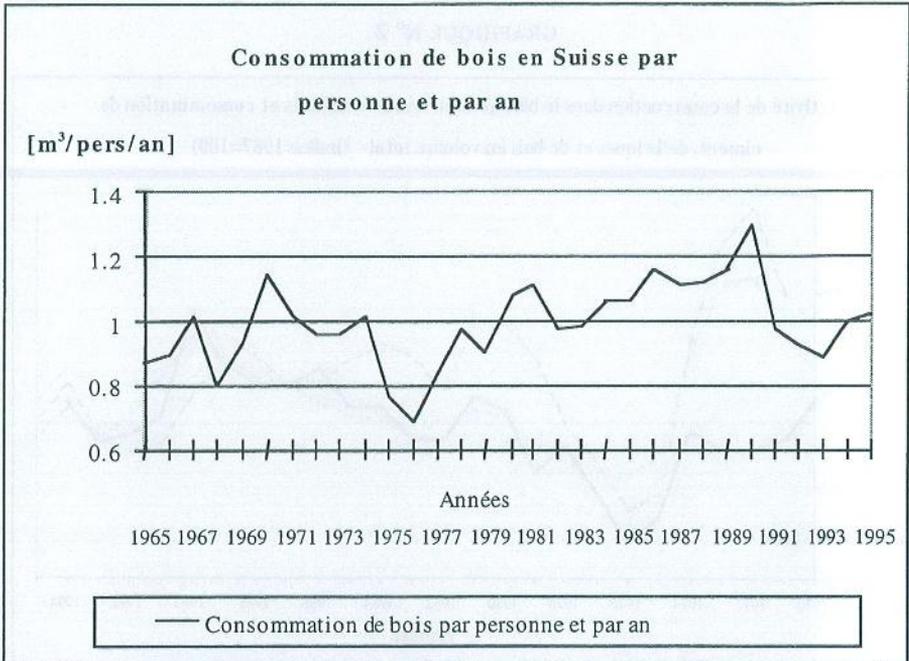
Au cours de la première phase, le bois était une ressource nécessaire et en grande partie irremplaçable pour les besoins personnels, pour la production artisanale et pour le passage à la production industrielle. Dans les villages comme dans les villes, il était en Suisse le principal matériau employé dans la construction des maisons et a donné un cachet propre aux zones habitées. La deuxième phase couvre *grosso modo* la période allant de 1850 à la première moitié de notre siècle et a subsisté au moins en partie jusqu'à maintenant. Le bois est devenu une ressource interchangeable. Son utilisation est concurrencée par d'autres matières premières - sources d'énergie fossiles - et par les prix sur les marchés nationaux et internationaux. Cette concurrence a entraîné dans certains domaines le remplacement du bois par d'autres ressources, mais a été aussi un facteur d'innovations multiples. En ville et, à un moindre degré, dans les villages, des matériaux plus performants et économiques l'ont largement remplacé.

Actuellement, d'après nos connaissances, nous entrons dans une troisième phase. Le bois est redevenu un matériau de construction et de production industrielle concurrentiel. L'utilisation de produits technologiques en bois de haute valeur et les nouveaux procédés pour les constructions en bois massif progressent et concurrencent, parfois avec succès, d'autres matériaux. En tant que ressource renouvelable et diversifiée, avec une bonne durabilité et un cycle de production neutre quant au dioxyde de carbone (CO₂), le bois est bien positionné comme élément du développement durable. Etant donné que l'accroissement de la population mène à une augmentation équivalente de consommation, le bois n'est plus un matériau quelconque de substitution mais redevient de première importance.

GRAPHIQUE N° 1



GRAPHIQUE N° 1 BIS



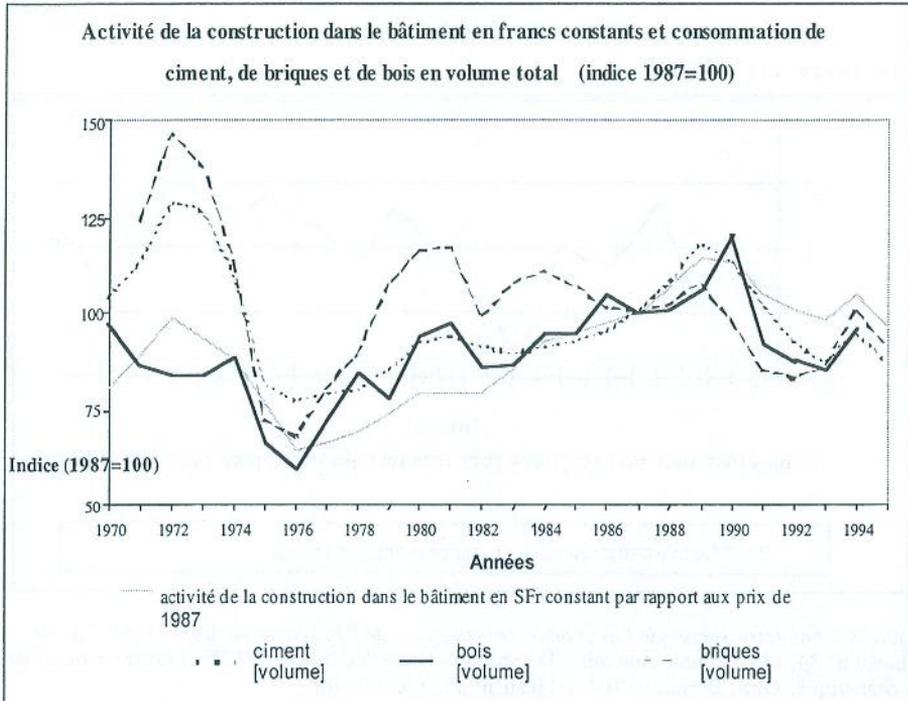
Sources : *Annuaire suisse de l'Économie forestière et de l'Industrie du bois*. 1987, p. 98 ; tableau n° 34, 13e colonne. *Annuaire*. Direction fédérale des forêts, OFEFP et Office fédéral de la Statistique, OFS, Berne, p. 104, tableau n° 35, 13e colonne.

En terme comparatif, le bois est resté ou est redevenu une importante matière première pour la construction et la production de produits technologiques. Le volume, respectivement le poids de bois quotidiennement consommé par personne, est légèrement inférieur à celui du ciment, mais deux fois supérieur à l'acier, et de loin plus élevé que celui des matières plastiques ou de l'aluminium. Le rapport entre les volumes utilisés annuellement des matériaux de construction exprime, au moins en partie, leur caractère compétitif. L'évolution des indices de prix sur des périodes plus étendues indique la compétitivité croissante ou en diminution des produits.

L'index 1987 (base 100) sur l'évolution des activités de la construction et des volumes en m³ des principaux matériaux utilisés permet deux observations intéressantes (graphique n° 2). Au début des années 70, l'écart entre les volumes de ciment et de briques par rapport au bois était considérable. C'était le temps de la mise en œuvre des grands travaux d'infrastructure et de l'expansion du réseau autoroutier. A partir de 1974, les indices du ciment et du bois se sont rapprochés et n'ont plus marqué de divergences structurelles importantes. En revanche, l'écart entre briques et bois, encore considérable au début des années 80, tend à se niveler. On peut en déduire, avec une

certaine prudence, qu'au moins en volume le bois maintient sa place par rapport aux deux autres matériaux.

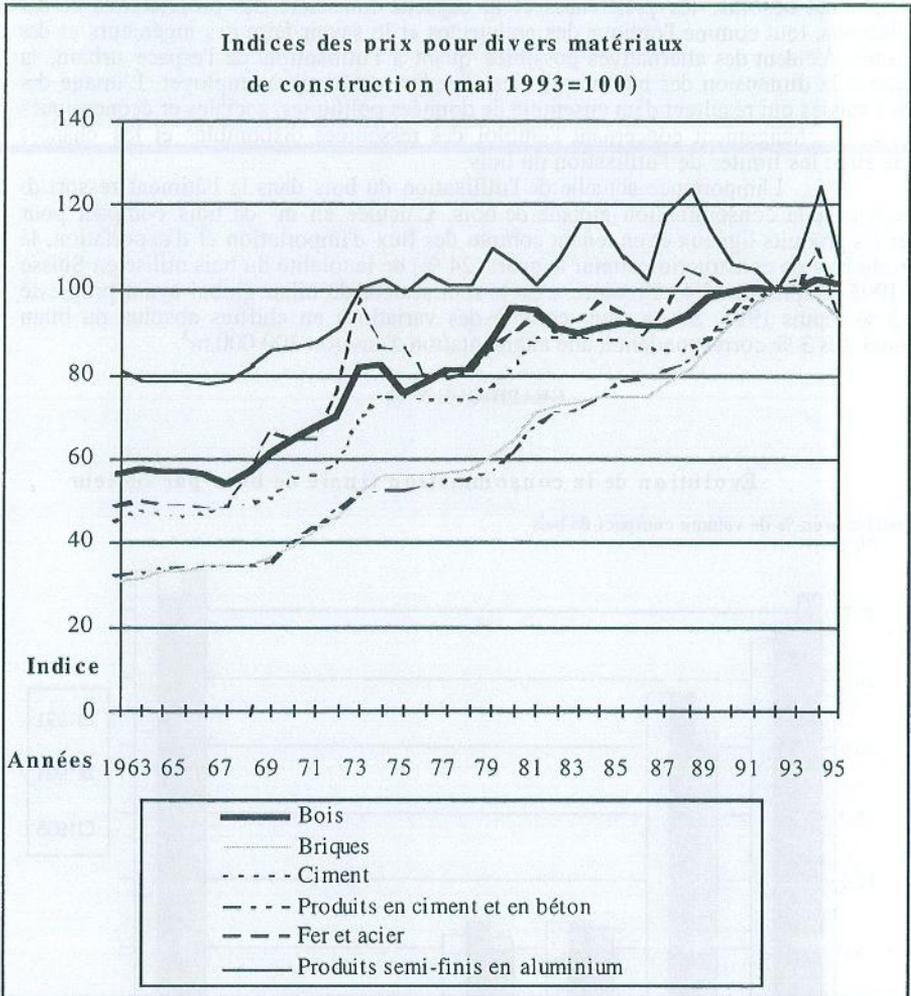
GRAPHIQUE N° 2



Sources : *L'Économie forestière et l'Industrie du bois en Suisse, Annuaire*. Direction fédérale des forêts, OFEFP et Office fédéral de la Statistique, OFS, Berne, 1995, p. 104, tableau n° 35, 13e colonne ; *La construction suisse en chiffre*. Zurich : Société suisse des entrepreneurs Edition 1996, pp. 52-53, 2^e ligne et p. 56 4^e et 6^e colonnes.

L'évolution des indices de prix des divers matériaux sur une période trentenaire démontre d'une part, un rapport relativement constant entre les prix des matériaux concurrents, et d'autre part, une tendance pour le bois à améliorer sa compétitivité face à d'autres produits (graphique n° 3). L'index statistique, avec une base de 100 en 1993, sert de référence. On constate par exemple, qu'au milieu des années 1960, le prix des briques et des produits en ciment (indice 30) était relativement plus avantageux que celui du fer (indice 50) et du bois (entre indice 50 et 60). Puis au cours des vingt-cinq dernières années, l'écart entre ces deux groupes s'est réduit. L'indice du bois a suivi l'évolution du prix du ciment, ainsi que celui du fer et de l'acier. Le prix des produits semi-finis en aluminium était alors bien supérieur (indice 80) à celui des autres matériaux et a, par la suite, gardé cette position.

GRAPHIQUE N° 3



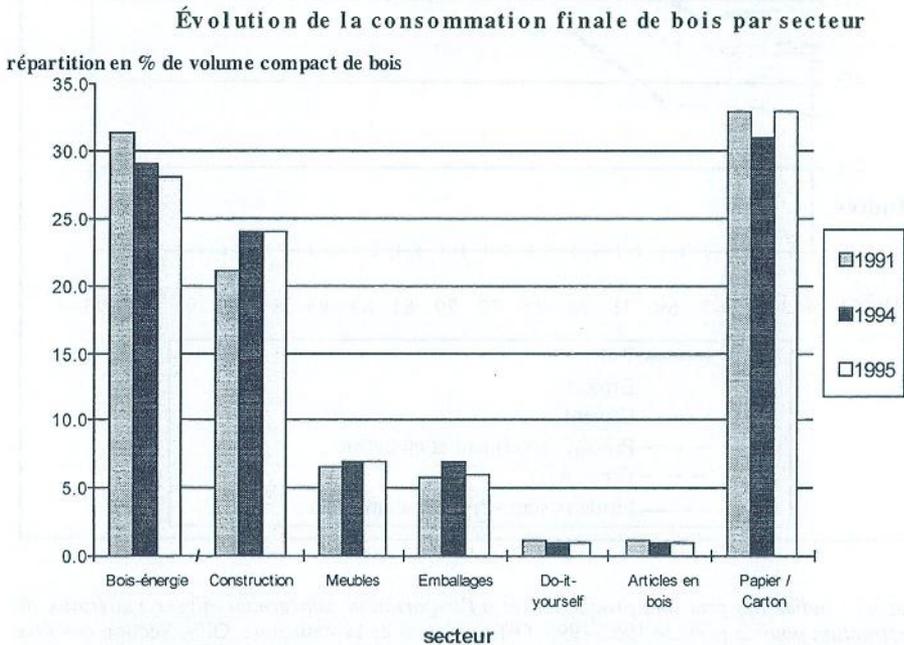
Sources : *Indice des prix à la production et à l'importation concernant divers matériaux de construction pour la période 1963-1996*. Office fédéral de la statistique, OFS, Section des Prix et de la Consommation, Berne.

II – LE BOIS DANS LA CONSTRUCTION SUR LE CHEMIN DE LA RECONQUÊTE

La singularité du paysage, la culture et les traditions d'un pays ainsi que l'espace disponible déterminent en grande partie les caractéristiques des villes. La diversité des besoins, les préférences et la capacité financière des propriétaires et des utilisateurs, tout comme l'optique des architectes et le savoir-faire des ingénieurs et des artisans, décident des alternatives possibles quant à l'utilisation de l'espace urbain, la forme et la dimension des bâtiments, ainsi que les matériaux à employer. L'image des villes suisses qui résultent d'un ensemble de données politiques, sociales et économiques montre le changement concernant l'emploi des ressources disponibles et les chances mais aussi les limites de l'utilisation du bois.

L'importance actuelle de l'utilisation du bois dans le bâtiment ressort de l'analyse de la consommation globale de bois. Calculée en m^3 de bois compact pour tous les produits ligneux et en tenant compte des flux d'importation et d'exportation, la part du bois de construction atteint le quart (24 %) de la totalité du bois utilisé en Suisse en 1995 (graphique n° 4). En outre, c'est le seul secteur du bilan global ayant progressé de 3 % depuis 1991. Si on tient compte des variations en chiffres absolus du bilan annuel, ces 3 % correspondent à une augmentation d'environ 300 000 m^3 .

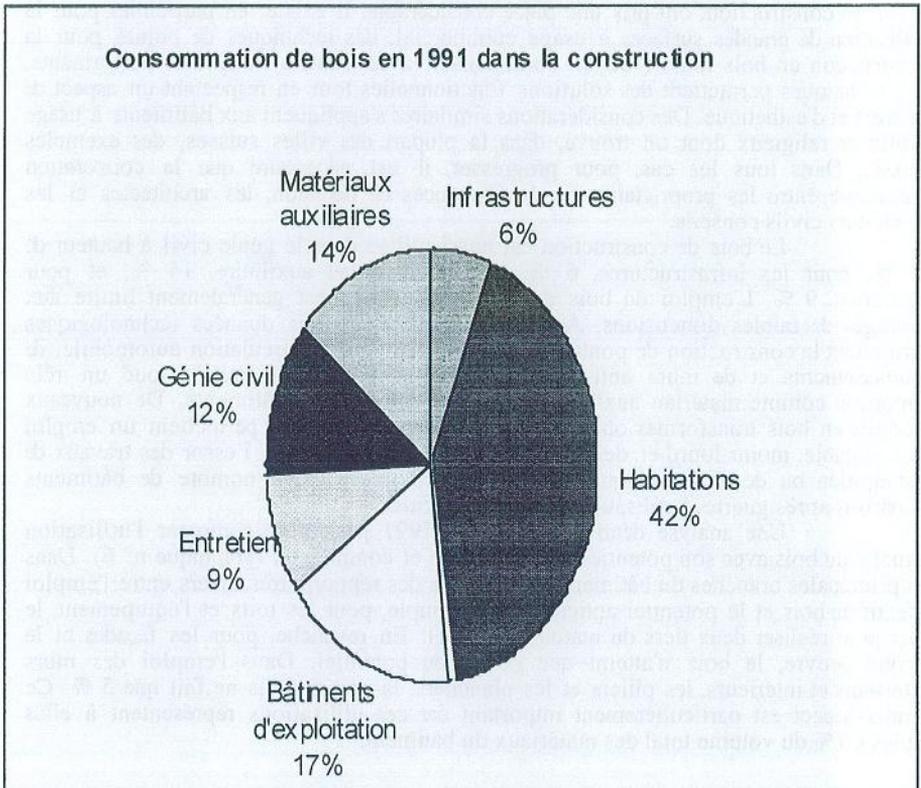
GRAPHIQUE N° 4



Source : PLANCONSULT, Bâle, 1991. Direction fédérale des Forêts, OFEFP et PLANCONSULT, Bâle 1993. In *L'économie forestière et l'industrie du bois en Suisse, Annuaire*, 1994 Office fédéral de la statistique, OFS, Berne, 1995, p. 105.

La disponibilité et les caractéristiques des matériaux influencent les possibilités de formes et les matières de construction des habitations. Les qualités technologiques et esthétiques, le coût des matériaux, le prix de construction, la préférence des maîtres d'oeuvre et des utilisateurs ont été jusqu'à présent décisifs. Dans certains secteurs de la construction, le bois a conservé sa position tandis que dans d'autres, il dispose encore d'un important potentiel d'expansion. Il est particulièrement intéressant de connaître les utilisations innovatrices du bois dans la construction en soulignant les différents types d'emploi (graphique n° 5) et le potentiel urbain actuel.

GRAPHIQUE N° 5



Source : PLANCONSULT, Bâle, 1991.

La construction de logements, soit individuels soit collectifs, est de loin le principal marché, celui probablement où existe le plus grand potentiel d'utilisation de bois. Près de la moitié du bois utilisé dans le secteur de la construction l'est pour les habitations (42 %). Dans ce domaine, il a gardé un rôle marquant, surtout en zones péri-urbaines et rurales. Un nouveau facteur intervenant est le retour en ville de maisons en

bois, à des prix relativement modérés, là où le permettent les plans d'urbanisation. Les premières réalisations d'habitations collectives en bois et à plusieurs étages démontrent une compétitivité économique du bois qu'il avait perdue depuis longtemps et indiquent le début, dans une conception urbanistique moderne, d'une acceptation de ce genre de bâtiment par les architectes et les usagers. La condition pour une progression plus substantielle réside dans une intégration plus étroite des différents corps de métiers du bâtiment. Ce qui nécessite une restructuration des entreprises pour qu'elles soient en position d'offrir des systèmes allant de la planification jusqu'à la finalité de l'oeuvre, en combinant l'utilisation de bois massif, de produits composites et de matériaux combinés.

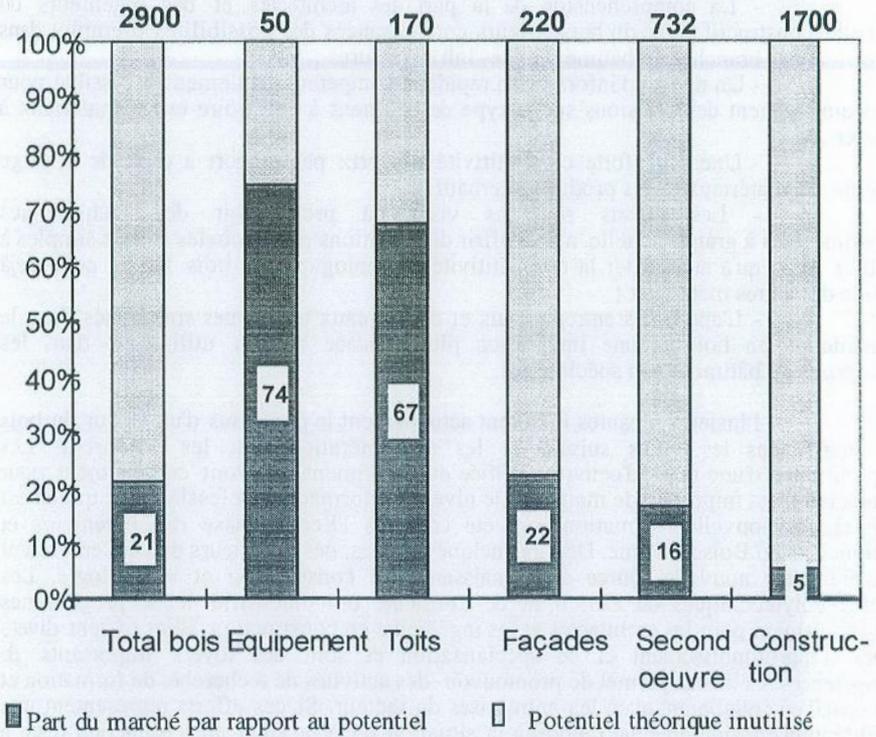
Les bâtiments d'exploitation, qui couvrent 17 % de la totalité du bois utilisé en construction, ont pris une place considérable. Il existe, en particulier pour la réalisation de grandes surfaces à usage commercial, des techniques de pointe pour la construction en bois massif ou en combinaison avec d'autres matériaux performants. Ces techniques permettent des solutions fonctionnelles tout en respectant un aspect de légèreté et d'esthétique. Des considérations similaires s'appliquent aux bâtiments à usage public et religieux dont on trouve, dans la plupart des villes suisses, des exemples réussis. Dans tous les cas, pour progresser, il est nécessaire que la coopération s'améliore entre les propriétaires ou les instances de décision, les architectes et les ingénieurs civils conseils.

Le bois de construction est aussi utilisé dans le génie civil à hauteur de 12 %, pour les infrastructures, 6 %, comme matériau auxiliaire, 14 %, et pour l'entretien, 9 %. L'emploi du bois dans le génie civil s'est généralement limité aux ouvrages de faibles dimensions. Actuellement, de nouvelles données technologiques permettent la construction de ponts de taille limitée pour la circulation automobile, de soubassements et de murs anti-bruits. Traditionnellement, le bois a joué un rôle important comme matériau auxiliaire ou pour l'entretien de bâtiments. De nouveaux produits en bois transformés ou combinés à d'autres matériaux permettent un emploi plus rentable, moins lourd et, de ce fait, moins onéreux. Grâce à l'essor des travaux de restauration ou de reconversion, indispensables pour un grand nombre de bâtiments construits après guerre, l'utilisation du bois s'affirme.

Une analyse détaillée de l'année 1991 permet de comparer l'utilisation actuelle du bois avec son potentiel technologique et commercial (graphique n° 6). Dans les principales branches du bâtiment, on constate des rapports très divers entre l'emploi effectif du bois et le potentiel anticipé. Par exemple, pour les toits et l'équipement, le bois peut réaliser deux tiers du marché potentiel. En revanche, pour les façades et le second oeuvre, le bois n'atteint que 20 % du potentiel. Dans l'emploi des murs extérieurs et intérieurs, les piliers et les planchers, la part de bois ne fait que 5 %. Ce dernier aspect est particulièrement important car ces utilisations représentent à elles seules 60 % du volume total des matériaux du bâtiment.

GRAPHIQUE N° 6

Potentiel total estimé : calculé modélisé
m³ volume solide de bois en 1000



Sources : HOFER P., HURST A. « Der Holzverbrauch in der Schweiz ». In : *Kompetenz-Zentrum Holz*, Juli 1996, 4. Jahrgang, Heft 1, p. 7 ; PLANCONSULT, Bâle, 1991.

Pour l'ensemble de la construction, les résultats montrent que le bois est utilisé à environ 20 % de sa capacité potentielle technologique et constructive. La différence entre le bois effectivement utilisé (790 000 m³) et son potentiel (environ 2 900 000 m³) est approximativement de 2 millions de m³. Cette comparaison est évidemment estimative mais aussi, dans une certaine mesure, théorique et spéculative. Même dans les meilleurs cas, le bois ne pourrait pas se substituer entièrement à d'autres matériaux et capter son potentiel anticipé. Pour maintes raisons, ce ne serait d'ailleurs pas souhaitable. En revanche, les données disponibles permettent d'évaluer l'ordre de grandeur des marchés à conquérir, à condition que les solutions technologiques et le prix

du bois soient concurrentielles. De nombreux facteurs peuvent contribuer à la progression du bois en espace urbain et dans le bâtiment. Ils sont déterminants si celui-ci doit atteindre une proportion plus élevée par rapport à d'autres produits concurrents. En se référant à l'expérience suisse, les facteurs suivants ont joué :

- La perception et les jugements des utilisateurs sur l'emploi du bois massif, transformé ou utilisé en combinaison avec d'autres matériaux, comme élément de construction durable et esthétique ;

- La compréhension de la part des architectes et des ingénieurs du potentiel constructif élevé du bois et leurs connaissances des possibilités d'emploi dans les différentes branches du bâtiment et des infrastructures ;

- Un niveau d'information rapide et compétent, facilement accessible pour ceux qui prennent des décisions sur le type de bâtiment à construire et les matériaux à utiliser ;

- Une plus forte compétitivité des prix par rapport à ceux de la large gamme des matériaux et des produits alternatifs ;

- Les efforts soutenus visant à promouvoir des technologies expérimentées à grande échelle, afin d'offrir des solutions plus globales et plus simples à réaliser, ainsi qu'à augmenter la compétitivité technologique du bois face à celle déjà établie des autres matériaux ;

- L'appui des entrepreneurs et des bureaux techniques spécialisés dans la construction en bois et une intégration plus efficace de son utilisation dans les entreprises du bâtiment non spécialisées.

Plusieurs mesures facilitent actuellement le processus d'un retour du bois par étape dans les villes suisses et les agglomérations qui les entourent. Les disponibilités d'une main d'oeuvre qualifiée et expérimentée y sont certainement pour beaucoup. Il est important de maintenir le niveau de formation professionnelle qui en est la base. De nouvelles formations ont été créées à l'École suisse des Ingénieurs et Techniciens du Bois à Bienne. Depuis quelques années, des ingénieurs du bois en sortent et offrent une nouvelle source de connaissance en construction et technologie. Les Écoles Polytechniques de Zurich et de Lausanne ont intensifié leurs programmes d'enseignement pour les architectes et les ingénieurs en construction. Elles offrent divers cours d'approfondissement et de spécialisation et sont des foyers importants de compétences. Cela leur permet de promouvoir des activités de recherche, de formation et de conseil en collaborant avec les entreprises du secteur. Si ces efforts représentent une amélioration considérable par rapport à la situation d'il y a vingt ans, beaucoup reste à faire. Pour ne mentionner que le domaine de la recherche, il est évident qu'il faut la renforcer et utiliser plus efficacement les moyens disponibles. Il est également nécessaire de réorienter la recherche avec l'objectif de développer et présenter des solutions globales valables sur le plan esthétique, fonctionnel et technologique et, en même temps, économiquement abordables et compétitives.

Pour conclure, j'en reviens aux grandes étapes qui ont déterminé le rôle du bois et ses multiples usages en espace urbain. Les tendances mentionnées se situent au sein d'un grand débat politique et public concernant les options d'un développement durable. Ce dernier est basé sur une utilisation plus rationnelle de l'énergie par unité de consommation, sur des circuits plus efficaces de production et sur l'emploi de matières renouvelables et recyclables ayant un impact réduit sur l'environnement. Si les perspectives d'un développement durable sont encore à un niveau très général et les conséquences concrètes plutôt floues, elles permettent toutefois une conclusion : le bois restera un élément indispensable et attractif dans l'évolution de nos villes et de ses bâtiments.

**LA PART DU BOIS DANS LA CONSTRUCTION ET LA RESTAURATION
DANS LA RÉGION-CENTRE**

par Pierre BONNAIRE

Le texte de la conférence fut choisi alors que j'exerçais les fonctions de chef du Service Régional de la Forêt et du Bois à Orléans (S.E.R.F.O.B.). J'ai eu à ce poste divers contacts avec les spécialistes de la construction en bois qui m'ont communiqué leur passion et ne baissent pas les bras, malgré une situation difficile. Nous leur devons donc beaucoup. Depuis huit mois, je les ai quittés mais nullement abandonnés car il y a entre différents représentants des professions du bois une amitié qui n'est pas de circonstance et qui s'exprime dans la fidélité. A ce titre, je vous remercie de bien vouloir m'excuser de modifier quelque peu cette fin de journée, préférant vous raconter, autour d'une maison à ossature bois, une histoire d'amitié par delà l'Océan Atlantique, qui a permis de concevoir un projet aujourd'hui réalisé mais non achevé...

Cette situation témoigne à elle seule des espoirs des professionnels du bois mais aussi du mur qui les sépare de leurs concitoyens, souvent séduits, rarement conquis par les irremplaçables *crédits* du matériau bois. Le temps du mariage du bois et des matériaux, pierres ou briques, est fini en Région Centre. Les spécialistes de cette Journée ont mobilisé leur énergie, leur compétence pour écrire un nouveau credo du bois. Mais que faire pour surmonter la résistance, inconsciente ou non, des autres hommes, des collectivités, des bâtisseurs qui ont perdu la liberté de choisir le bois ? Cette histoire est l'hommage rendu à un architecte dont les qualités sont nombreuses pour ceux qui le connaissent, je veux nommer Yves Chaperot, président d'ARBOCENTRE Interprofession, et humaniste de toujours, créateur et amoureux du bois.

I - DÉCOUVERTE À ATLANTA (USA)

Le SERFOB anime la filière bois et contribue à sa promotion conformément au décret de 1985, relatif à l'organisation et aux missions des services extérieurs du Ministère de l'Agriculture. Cet objectif constitue un champ d'intervention original à côté des missions régaliennes indispensables au maintien du patrimoine forestier. L'originalité n'implique pas la facilité. Il s'agit de conjuguer les phénomènes contradictoires d'une évolution partie sur l'idée d'une pénurie séculaire, alors qu'on entre dans une époque où la disponibilité en bois croît mais où le matériau a quitté furtivement mais inévitablement l'environnement domestique des hommes, du moins dans notre pays.

Il fallut la visite de Louise Fortin, canadienne expatriée à Atlanta, au Consulat de France, pour animer les échanges autour de la filière bois française aux États-Unis, en liaison avec les problèmes du commerce extérieur. En 1993, elle visita la Région Centre et la Région Rhône-Alpes, après avoir rencontré à Forexpo les fabricants de machines à bois qu'elle invita lors de l'IWS (International Working fair) qui se tenait à Atlanta l'année suivante. Le directeur régional du commerce extérieur en avertit la Direction régionale de l'Agriculture et de la Forêt, au terme d'une visite éclair, qui lança une coopération effective sur le thème « Maison à ossature bois » (M.O.B.). Cette habitation n'arrivait pas à démarrer en France, alors qu'elle fait fureur aux États-Unis. Arbocentre décida de parrainer l'opération. Le salon IWS ouvrit ses portes en août 1994. Le gouvernement américain accueillit en délégation six partenaires : constructeurs, architectes, forestiers, maîtres d'ouvrage, élus, importateurs. Pendant une semaine, des contacts furent pris entre pavillonneurs, scieurs, industriels, responsables de chaîne de

grandes surfaces. En découvrant l'intégration de la filière bois autour de la M.O.B., ils découvrirent la production intégrée, de la forêt à la marche d'escalier. Ici, la maison à ossature bois est un château, jamais une bicoque. On voit la maison avec ses encorbellements, ses équipements qui font presque sourire. Bientôt, chacun s'habitua à ces décors que les Français admirent... aux théâtres ou à la télévision, dans les séries américaines. 95 % des 1 200 000 logements construits chaque année sont en bois, plus de 80 000 000 m³ de bois brut ont alimenté la construction. Une autre américaine, Madame Kay Cantrell nous conduisit sur ses chantiers de construction. Elle est aujourd'hui constructeur de 4 000 pavillons et son marketing est imbattable. Enfin, il fut décidé de concevoir un programme d'échanges entre Atlanta et la Région-Centre pour réaliser, à l'exemple de l'Université américaine, une maison par des élèves, qui sera vendue pour recommencer l'année suivante ailleurs. Maintenant, la « Maison d'Amboise » est faite. Elle est à vendre. Louise Fortin est désormais attachée commerciale à l'Office du Québec à Atlanta. C'est à Madame le proviseur du Lycée E. de la Taille à Loches qu'elle doit sa capacité d'organisatrice et de pédagogue, capable de mobiliser les enseignants et les élèves sur un projet d'ensemble. Pour tester ce que les six partenaires d'ARBOCENTRE avaient découvert à Atlanta, il fut décidé la mise en application, le transfert de savoir dans le cadre d'un Chantier-École à Amboise. La « Maison d'Amboise » a permis

– pour les professionnels

de rendre accessibles les techniques de mise en œuvre sur place, avec des bois de petites sections, de panneaux dont l'assemblage est cloué et collé.

– pour les visiteurs

de découvrir que l'espace dans la maison est le confort par excellence. La structure bois devrait y répondre avec des coûts compétitifs.

II – RETOUR EN FRANCE ET DANS LA RÉGION-CENTRE

Avant la Guerre de 1914-1918, en France, 50 % des habitations étaient des maisons de maçons, et 50 % des maisons de charpentiers. Au lendemain de cette guerre, quantité de noyers avaient disparu pour réaliser des crosses de fusils, mais en même temps avait disparu toute une génération de charpentiers, exposés plus que les autres encore, en réalisant en bois le blindage des tranchées. Ainsi disparaissaient des arbres, des hommes du bois et leur savoir. D'autres raisons expliquent aussi la perte de parts de marché des structures-bois dans la construction quotidienne :

– l'usage du béton armé, appuyé par les groupes puissants de l'acier et des ciments

– l'arrivée massive dans les années 1920 des petits maçons italiens utilisant un produit nouveau, simple et facile, le parpaing béton.

L'arbre n'implique pas pour un pays le savoir faire de la construction en bois. De tous les pays industrialisés, la France est le seul à n'avoir pas eu de continuité dans le savoir faire en bois. Habiles dans l'inhabituel, nous savons faire de beaux ouvrages en structure bois lamellé-collé par exemple, mais l'usage quotidien banal, spontané du bois, nous l'avons perdu. De cette réflexion et d'autres très voisines sont apparues de nombreuses initiatives professionnelles, afin d'inverser le cours des choses au plan national. En Région Centre, ARBOCENTRE Interprofession a voulu voir aux États-Unis, à Atlanta, comment procédaient les constructeurs dans l'habitat individuel et les petits collectifs. Car tous les produits utilisés aux États-Unis, nous en avons l'équivalent ici ; toutes les techniques utilisées là bas, nous les utilisons ici ; quant aux

contraintes réglementaires, elles ne sont pas tellement différentes d'un côté à l'autre de l'Atlantique. Mais là bas :

- 1) Les standards bois sont la base de l'échelle industrielle du produit bois.
- 2) Les composants bois, menuiseries extérieures par exemple, sont réalisées en très grandes séries, compte tenu des standards bois utilisés massivement dans les ossatures bois où elles s'encastrent.
- 3) L'ensemble de la construction est une coque dont tous les éléments sont solidaires au lieu qu'il y ait superposition des logiques de construction.
- 4) Le principe général est une ossature de petits bois (standards) pour les murs, planchers, cloisons, toiture, qui sert de support à un double habillage : à l'extérieur un décor, à l'intérieur un cocon.

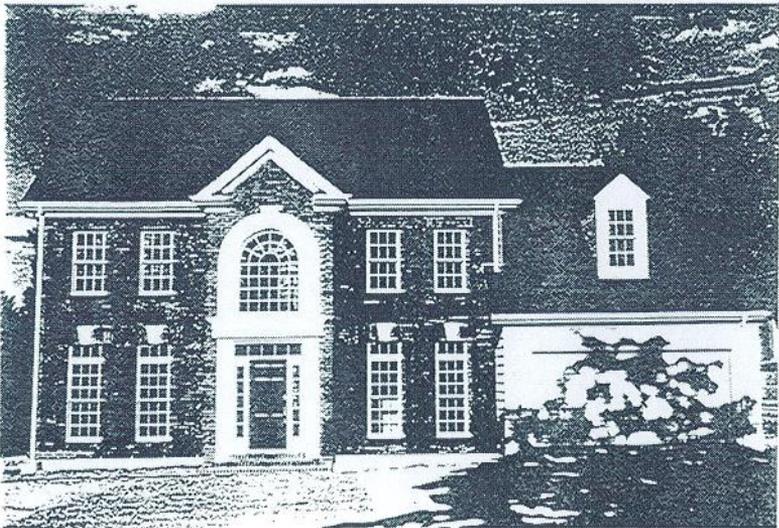
Aux États-Unis, à l'échelle industrielle des scieurs spécialisés sur quelques standards et des fournisseurs de composants, s'ajoutent des données fondamentales pour l'essor des constructions en bois. Tout d'abord, la facilité d'achat et de vente de l'immobilier, aussi facile pour nous que l'achat d'une voiture. Ensuite, un rapport culturel différent entre le propriétaire d'une maison et sa maison, qui est un outil pour vivre confortablement, et non un patrimoine à transmettre. Ce qui n'implique pas une moindre durabilité.

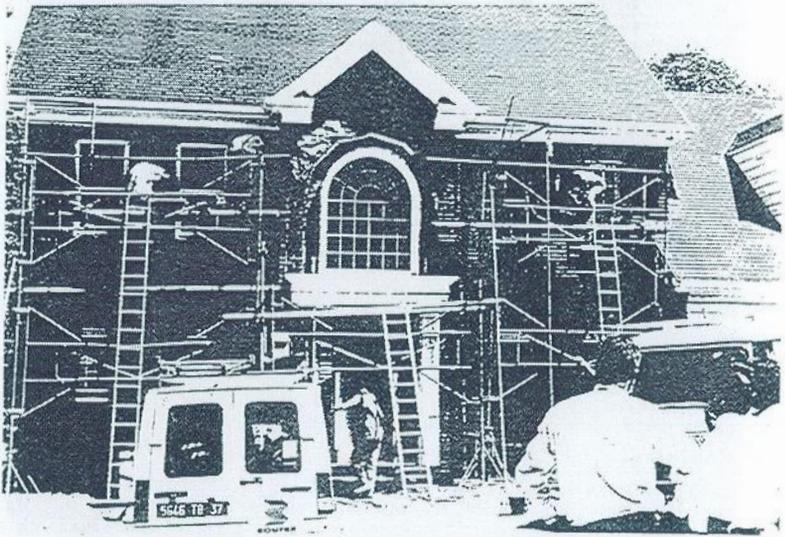
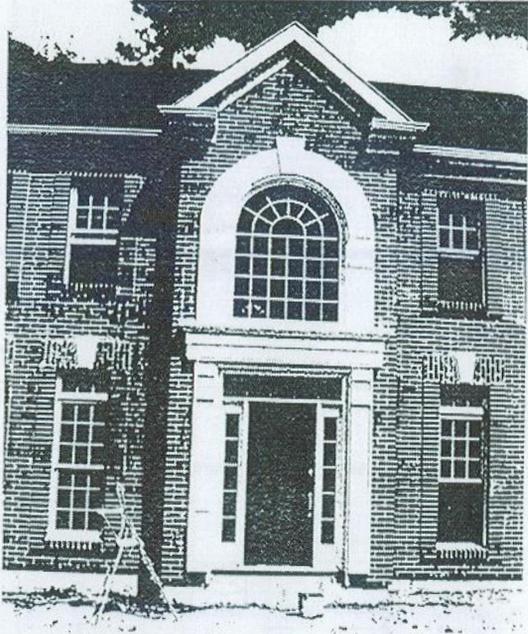
En France, de nombreux facteurs jouent à terme pour la renaissance du bois dans la construction : valeurs écologiques, amélioration de la construction à sec, souplesse d'adaptation, confort du produit fini. C'est la convergence de ces différents facteurs qui rendra seule possible cette renaissance. Aucune action, même modeste comme celle de Chantier-École à Amboise, ne peut être négligée. Au savoir scientifique et technique, mis en commun dans des programmes européens, ambitieux comme les récents documents sur « les structures en bois aux états limites », doit répondre la diffusion du savoir.

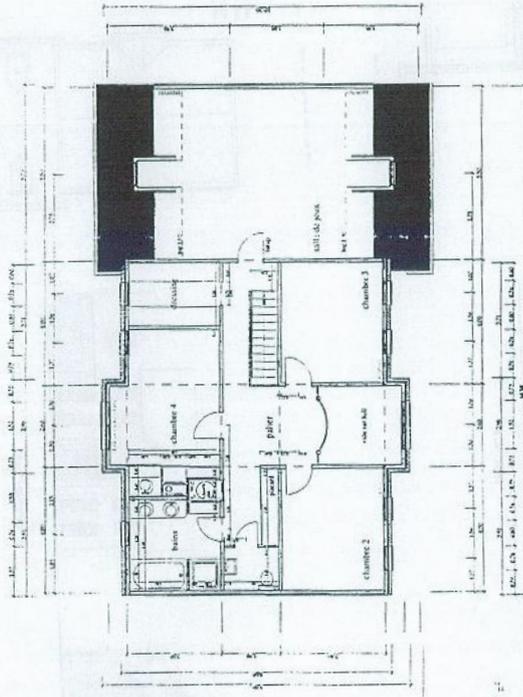
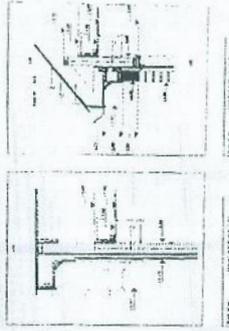
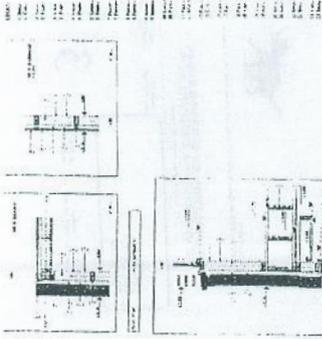
FIGURE N° 1
Amboise
Une maison américaine en ossature bois



façade principale







99,80 m²

Espaces habitables SH		99,80 m ²
Surfaces habitables SHS		
chambre 1	12,90	
chambre 2	12,90	
chambre 3	12,90	
chambre 4	12,90	
salle de jour	1,80	
bain	5,20	
couloir	5,20	
placard	25,25	
escalier	10,25	
placard	10,25	
Total SHS	108,35	m ²
Total	32,40	m ²
total	7,80	m ²

MISE EN ŒUVRE
ARNDT - 06 41 26 66 66 - 2 av. de la République - 93000 Bobigny

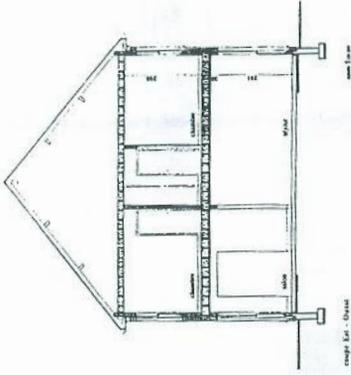
REALISATION EN CHANTIER ECOLE
D'UNE MAISON A OSSATURE BOIS
L'ESPACE BOIS



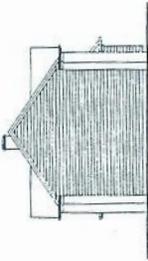
PLAN DE L'ETAGE

PROFESSEUR
M. BOUTIER
M. BOUTIER
M. BOUTIER

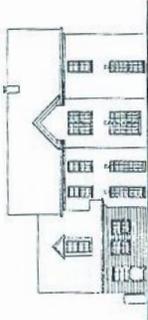
2



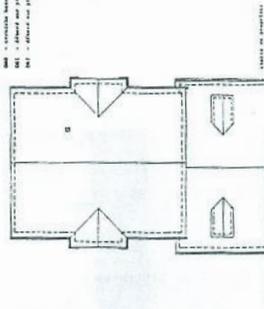
coupe Est - Ouest



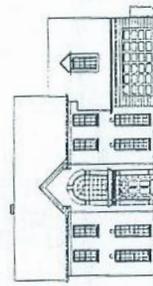
façade Nord



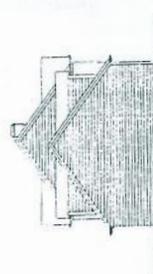
façade sur Jardins - Est



plan de l'étage



façade principale - Ouest



façade Sud

10000 des plans de permis de bâtir

100 - murs extérieurs sur sa poutre sur sa charpente
 10000 des plans de permis de bâtir

101 - charpente sur sa poutre sur sa charpente
 102 - charpente sur sa poutre sur sa charpente
 103 - charpente sur sa poutre sur sa charpente
 104 - charpente sur sa poutre sur sa charpente
 105 - charpente sur sa poutre sur sa charpente
 106 - charpente sur sa poutre sur sa charpente
 107 - charpente sur sa poutre sur sa charpente
 108 - charpente sur sa poutre sur sa charpente
 109 - charpente sur sa poutre sur sa charpente
 110 - charpente sur sa poutre sur sa charpente



REALISATION EN CHANTIER ECOLE
 D'UNE MAISON A OSSATURE BOIS

11, Avenue Crues Couronnes

FACADES
 COUPE
 TOITURES

3

1:100

POUR EN SAVOIR PLUS GÉNÉRAL

« LE BOIS. UN MATÉRIAU DE TOUS LES AGES, TOUJOURS PERFORMANT »

par Jean-Michel LEBAN, Laurent SAINT-ANDRÉ et Pascal TRIBOULOT

- ASHBY M.F. *Material selection in mechanical design*. Pergamon press, 1992. 311 p.
- ROCHETTE P. *Le bois, sa structure, ses propriétés*. Monographie Dunod, 1963. 163 p.

« LE BOIS : NOUVELLES TECHNOLOGIES ET NOUVEAUX MATÉRIAUX »

par Pascal TRIBOULOT et Jean-Michel LEBAN

- « Le bois HTT ». *ABC Industrie*, 1995.
- AVAT F. *Contribution à l'étude des traitements thermiques du bois*. Thèse de l'Ecole des Mines de Saint-Etienne, 1993.
- BADEAU V., BECKER M., BERT D., DUPOUEY J.L., LEBOURGEOIS F. et PICARD J.F. « Long-term growth trends of trees : ten years of dendrochronological studies in France ». *Growth trends in European Forests*, Edited by H. Spieker, K. Mielikainen, M. Kohl and J.P. Skovsgard, Springer Verlag. p. 167-179.
- BOEGLIN N. *Valorisation par agglomération de sous-produits de la filière bois*. Thèse de doctorat de l'Université Henri Poincaré-Ecole nationale supérieure des Technologies et Industries du Bois, 1995
- GIUSTINA G. *La pathologie des ouvrages en bois*. Paris : Édition du Moniteur, Paris, 1985.
- LOCHU S. « Le CCA et la technique de fixation accélérée ». in *Protection des bois : Hickson*, 1994.
- *Utilisation du bois dans la construction et action institutionnelle*. Rapport Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (A.E.M.E.). 1993.
- OLIVE G. « Habitat écologie ». *Le Moniteur*, dossier, n° 4847, oct. 1996.
- PIZZI A. « Protection of wood surfaces with metallic oxides ». *Holzforschung*, n° 33 fasc. 1, 1981, p. 11-14.
- ROWELL R.M., YOUNGQUIST J.A., HYATT J.A. « Dimensional stability of aspen fiberboard ». *Wood and Fiber Science*, n° 23, fasc. 4, 1991, p. 556-558.
- SELL J. « Holz im Bauwesen ». Rapport n° 210, Laboratoire Fédéral d'essai des matériaux, Dübendorf (Suisse), 1982.
- « Les Industries du Bois ». *Analyse et chiffres clés*, Direction générale des Stratégies industrielles, SESSI, 1996.
- VAN OOST H., EYMARD P., GASTIGER M., MASSON D. *Imprégnation du bois par les fluides supercritiques*. Actes de l'Association Française de la Préservation des Bois, Cannes, 1995.

« LE BOIS DE QUALITÉ : MATÉRIAU HOMOGENÈME ET INDUSTRIEL »

par Xavier MARTIN

- « Aide aux investissements forestiers de sylviculture et d'infrastructure ». *Service Régional de la Forêt et du Bois des Pays de la Loire*, octobre 1995.

- « La forêt et les industries du Bois ». *Service central des enquêtes et des études statistiques*, Ministère de l'Agriculture, 1996, 150 p.
- « Evolution de la forêt au niveau régional et départemental pour les Pays-de-Loire ». Mémoire rédigé par M.M. Aubin, Bouchut, Brunellière, Mouzin, *École supérieure du Bois*, 1996, 46 p.
- « Situation actuelle et perspectives d'évolution des entreprises de première transformation du bois des Pays-de-Loire ». *Service Régional de la Forêt et du Bois des Pays de la Loire*, Rapport de M.M. Gallais, de Villanfray, 1997. 72 p.
- Timber Nordic Council, 77 avenue de Villiers, 75017-Paris.
- « Un nouvel atout pour l'industrie du bois ». *Revue de l'Ameublement*, octobre 1995.
- « L'utilisation des matériaux composites dans la construction : cas de l'association bois-carbone ». Mémoire de M. Fauroux, *École supérieure du Bois*, 1996. 124 p.
- « Les principales données économiques de la filière bois ». Mémoire de MM. Boulay, Foulonneau, Gautron, Le Néen, *École supérieure du Bois*, 1996.
- « Les industries du Bois ». Rapport de M. Prudhommeaux. *Ministère de l'Industrie, SESSI*, 1996. 216 p.

« MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION. MISE EN ŒUVRE ET LOGIQUE DE BÂTISSEURS EN NORMANDIE (XVIIIe-XIXe SIÈCLES)

par Francis COURPOTIN

- OUIIN-LACROIX C. *Histoire des anciennes corporations d'arts et métiers*. Rouen : Locoointe frères, 1850. 763 pages.
- DE LA HIRE M. *L'art de la charpente de Mathurin Jousse, architecte ingénieur, corrigé et augmenté de ce qu'il y a de plus curieux dans cet art et des machines les plus nécessaires à un charpentier*. Paris : Jombert, 1751. 212 p.
- Arch. dép. Seine-Maritime. Déclarations devant Picard notaire à Rouen, 23 ventôse an XII et 4 floréal an XII.
- LEJEUNE P. « Ernest Villette, maître-charpentier Dévillois (1850-1925) », *Bulletin de la Société libre d'Émulation*, 1985, p. 11-24.

« LE BOIS, LE MÉTAL, CONCURRENCE ? »

par Frédéric SEITZ

- SEITZ F. « Le métal ne fait plus hurler ». *Magazine d'Architectures*, n° 10, novembre 1990, p. 35-39.
- SEITZ F. « Les rapports entre architectes et ingénieurs en France : l'Exposition universelle de 1889 ». *Revue d'Histoire Moderne et Contemporaine*, n° 39-3, juillet-septembre 1992, p. 483-492.
- *Construire en acier*. Paris : Le Moniteur, 1993, 263 p.
- SEITZ F. « Le métal, mal-aimé de la construction en France depuis un siècle : des raisons de coût ? ». *Histoire et Mesure*, 1994, IX-1/2, p. 147-169.
- SEITZ F. (sous la direction de). *Architecture et métal en France, XIXe-XXe siècles*. Paris : Éditions de l'École des hautes Études en Sciences sociales, 1994, 240 p.

- SEITZ F. « Le métal : résistance à un matériau ». *Urbanisme*, n° 285, novembre-décembre 1995, p. 35-41.
- SEITZ F. « Les ponts et viaducs mobilisables, nouveautés introduites par Ernest Raymond Henry ». *Architecture dynamique ponti e non solo ponti*, Turin : Celid, 1995, p. 35-44.
- SEITZ F. *L'architecture métallique au XX^e siècle*. Paris : Belin, 1995. 240 p.
- SEITZ F. « La naissance de l'architecture industrielle ». *Les Cahiers de Science et Vie*, n° 35, octobre 1996, p. 6-12.

« MATÉRIAUX D'ENVELOPPE ET ENVIRONNEMENT : VERRE, MÉTAL ET BOIS (XIX^e et XX^e siècles) »

par Jean-Pierre TRAISNEL

- LEMOINE B. *L'Architecture du fer, France : XIX^e siècle*. Seyssel : Champ-Vallon, 1986.
- PATTE P. *Mémoires sur les objets les plus importants de l'architecture*. Paris, 1769.
- GUILLERME A. « La disparition des saisons dans la ville, les années 1830-1860 ». *Les Annales de la recherche urbaine*, n° 61, mars 1994, p. 9-14.
- PIORRY P.-A. *Des habitations et de l'influence de leurs dispositions sur l'homme en santé et en maladie*. Paris, 1838, p. 48-55.
- ROBERTS H. *Des habitations des classes ouvrières*. Traduction française, Paris, 1850. p. 5-6.
- GUILLERME A. *Bâtir la ville, Révolutions industrielles dans les matériaux de construction, France, Grande-Bretagne*. Paris : Champ-Vallon, 1995.
- ECK CH. *Traité de construction en poteries et fer*. Paris, 1841.
- WHITE R.B. *Prefabrication, a history of its development in Great Britain*. London, 1965.
- HERBERT G. *The pioneers of prefabrication*. London : The John Hopkins University Press, 1978.
- POIRE P. *La France industrielle*. Paris, 1875. p. 111, 2^eème édition.
- CONTY H.A. de. *Les Applications nouvelles de la tôle fine*. Paris, 1927.
- RAZOUS P. « Concours de la Société des forges de Strasbourg ». *Le Génie civil*, 25 août 1922, p. 186 et suivantes.
- *Architecte d'aujourd'hui*, novembre 1930.
- MESLAND P. « Avantages des ossatures métalliques et des murs rideaux (curtain-walls) dans la construction rapide et économique d'immeubles ». *Supplément aux Annales de l'ITBTP*, n° 113, mai 1957.
- AYOUB R. « Contrôle technique naturel des locaux dans les tropiques et les régions tempérées et ensoleillées ». *Techniques et architecture*, 20^eème série, n° 2, février 1960.
- MERLIN P., TRAISNEL J.-P. *Énergie, environnement et urbanisme durable*. Paris : Presses Universitaires de France, 1996. Collection Que sais-je n° 2044.

« BOIS ET FORTIFICATION URBAINE DANS LA DEUXIÈME MOITIÉ DU XIX^e SIÈCLE »

par Martine BECKER

- Archives du Génie, article 8, section 1, Paris-Sud, 1849-1875, carton n° 2.
- Service du Génie, circulaire du 3 avril 1862.

- Archives du Génie, article 8, section 1, Paris-Sud 1849-1875, carton 2.
- VIOLLET-LE-DUC. E. *Mémoire sur la défense de Paris*. Paris : Morel, 1871.
- VIOLLET-LE-DUC E. *Mémoire sur la défense de Paris*. Paris : Morel, 1871. p. 168
- CHARNAY J.P. « De la géographie militaire à la géopolitique ». In *Forêt et Guerre*, sous la direction de A. Corvol et J.P. Amat. Paris : L'Harmattan, 1994. p. 9-18.

« LE BOIS EN VILLE SUR LE CHEMIN DE LA RECONQUÊTE : EXEMPLES EN SUISSE »
par Franz SCHMITHÜSEN

- *L'économie forestière et l'industrie du bois en Suisse. Annuaire 1995*. Office fédéral de la Statistique (OFEFP), Direction fédérale des Forêts, Bern. (147 p. et annexes).
- Forum für Holz - Rohstoff mit Zukunft. Ziele und Strategien zur Holzförderung. Umwelt-Materialien n° 33. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern (23 S.).
- HOFER P. HURST A. « Der Holzverbrauch in der Schweiz ». In *Kompetenz-Zentrum Holz*, fasc. 4, 1996, pp. 6-7.
- HOFER P. « Element für eine schweizerische Holzwirtschaftspolitik ». *Kompetenz-Zentrum Holz*, fasc. 4, 1996, pp. 12-13.
- KRAMEL H. (Hrsg). 50 Holzbauten - Illustrierte Datenbank, fasc. 1, 1994. ETH Zürich.
- KRAMEL H. (Hrsg) 50 Holzbauten - Illustrierte Datenbank, fasc. 2, 1995. ETH Zürich.
- KRAMEL H. (Hrsg) 50 Holzbauten - Illustrierte Datenbank, fasc. 3, 1996. ETH Zürich.
- Office Fédéral de la Statistique (OFS), Section Prix et Consommation. Indices des prix à la production et à l'importation concernant divers matériaux de construction pour la période 1963-1996, Berne.
- PECK T.J. et DESCARGUES J. « Le contexte politique pour le développement du secteur de la forêt et des industries forestières en Europe ». *Forstwissenschaftliche Beiträge der Professur Forstpolitik und Forstökonomie*, n° 18, ETH Zürich, (192 S.), 1997.
- SCHMITHÜSEN F. *Rahmenbedingungen für die Entwicklung der Forst Und Holzwirtschaft in Europa*. Kompetenz-Zentrum Holz, fasc. 4, 1996, p. 8-11.
- SCHULZ H. *Entwicklung der Holzverwendung im 19., 20., und 21. Jahrhundert*. Holz als Roh- und Werkstoff 1993, 51, p. 75-82.
- *La construction suisse en chiffre*. Zürich : Société suisse des Entrepreneurs. 1996.
- WIEGAND J. ; STREBEL J. ; KREIENBÜHL M. « Studie über den Endverbrauch des Holzes in der Schweiz im Jahre 1991 ». *Erstellt durch Planconsult im Auftrag der Eidg. Forstdirektion*, Bern, 1991 (104 S.).

LISTE DES AUTEURS

- Madame Martine BECKER

18 rue Tournefort
75005-PARIS

- Monsieur Pierre BONNAIRE

Ingénieur en chef du Génie Rural, des Eaux et
Forêts
63 rue Croulebarbe
75013-PARIS

- Monsieur Francis COURPOTIN

1207 route de Neuchâtel
76230-BOIS-GUILLAUME

- Monsieur Bernard DU PEYROUX

Directeur du Service environnement
Société ARENA
Les Technodes, B.P. 2
78931-GUERVILLE cedex

- Monsieur Georges-Henri
FLORENTIN

Chef du Département Structure
Centre technique du Bois et de
l'Ameublement
10 avenue de Saint-Mandé
75012-PARIS

- Monsieur Jean-Michel LEBAN

Chargé de recherches
Institut national de Recherches
agronomiques
Centre de recherches forestières
CHAMPENOUX
54280-SEICHAMPS

- Monsieur Xavier MARTIN

Directeur
École supérieure du Bois
CP 3029, rue Christian PAUC
49087-NANTES cedex

- Monsieur Franz SCHMITHÜSEN

Professeur
ETH-Zentrum
8092-ZÜRICH — SUISSE

- Monsieur Frédéric SEITZ

Ingénieur de recherches, CNRS
École des hautes Études en Sciences sociales
Centre de Recherches historiques
54 boulevard Raspail
75006-PARIS

- Monsieur Gilbert STORTI

Ingénieur, architecte
Responsable Formation au CNDB
6 avenue de Saint-Mandé
75012-PARIS

- Monsieur Jean-Pierre TRAISNEL

Ingénieur de recherches, CNRS
Laboratoire Théorie des Mutations urbaines
7 cité Leroy
75020-PARIS

- Monsieur Pascal TRIBOULOT

École nationale supérieure des Technologies
et Industries du Bois
27 rue Merle Blanc
88051-ÉPINAL cedex 9

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE par Andrée CORVOL.....	p. 1
Première partie : Le bois-matériau : caractères et histoire	
1 - Le bois. Un matériau de tous les âges, toujours performant par Jean-Michel LEBAN et Pascal TRIBOULOT	p. 9
2 - Le bois : nouvelles technologies et nouveaux matériaux par Pascal TRIBOULOT et Jean-Michel LEBAN	p. 18
3 - Les bois de qualité : matériau homogène et industriel par Xavier MARTIN	p. 23
4 - Le bois, matériau de grande diffusion ou matériau d'élite par Patrick CASTERA et Pierre MORLIER	Texte manquant
5 - Voyage au pays du bois dans la construction par Gilbert STORTI.....	p. 27
6 - Utilisation des granulats dans les constructions en ville par Bernard DU PEYROUX.....	p. 30
7 - Le bois dans la construction, son évolution au XX^e siècle, perspective pour le XXI^e siècle par Georges-Henri FLORENTIN.....	Texte manquant
Deuxième partie : Le bois-matériau : ses concurrents, ses utilisations	
1 - Matériaux de construction, mise en œuvre et logique. La Normandie, XVIII^e-XIX^e siècles par Francis COURPOTIN	p. 39
2 - Le bois, le métal, concurrence ? par Frédéric SEITZ.....	p. 45
3 - Matériaux d'enveloppe et environnement : verre, métal et bois (XIX^e et XX^e siècles) par Jean-Pierre TRAISNEL.....	p. 49
4 - Bois et fortification urbaine. Bicêtre et Sucy-en-Brie (Val-de-Marne), 1850-1900 par Martine BECKER.....	p. 55
5 - Entre le bois et le béton : la pierre. Emploi. Tradition par Denis MONTAGNE.....	Texte manquant
6 - Le bois en ville sur le chemin de la reconquête : exemples en Suisse par Franz SCHMITHÜSEN.....	p. 59
7 - La part du bois dans la construction et la restauration dans la Région-Cnètre par Pierre BONNAIRE.....	p. 70
Pour en savoir plus.....	p. 77
Liste des auteurs.....	p. 81
Table des matières.....	p. 83

LISTE DES PUBLICATIONS DU G.H.F.F.

- *Aspects de la recherche sur l'Histoire des forêts françaises*. Paris : Institut d'Histoire Moderne et Contemporaine (CNRS), 1980.
- *Histoire des forêts françaises. Guide de recherche*. Paris : Institut d'Histoire Moderne et Contemporaine (CNRS), 1982.
- *Jalons pour une histoire des gardes forestiers*. Paris : Institut d'Histoire Moderne et Contemporaine (CNRS)-Laboratoire d'Économie forestière et agricole (INRA), 1985.
- *Quarante ans de législation forestière (1945-1985)*, préface de Roger Blais. Paris : CNRS-ENS de Saint-Cloud, 1987.
- *Révolutions et Espaces forestiers*, textes réunis et présentés par Denis Woronoff, préface de Michel Vovelle. Paris : L'Harmattan, 1989.
- *Forges et forêts. Recherches sur la consommation proto-industrielle*, sous la direction de Denis Woronoff. Paris : E.H.E.S.S. 1990.
- *La Forêt et l'Eau*, textes réunis et présentés par Andrée Corvol et Frédéric Ogé. Paris : G.H.F.F., 1990.
- *Le Bois et la Ville*, textes réunis par Jean-Claude Biget, Jean Boissière et Jean-Claude Hervé, préface de Daniel Roche. Paris : ENS de Saint-Cloud-G.H.F.F., 1991.
- *La Forêt*, textes réunis et présentés par Andrée Corvol. Paris : C.T.H.S., 1991.
- *La Nature en révolution, 1760-1800*, sous la direction de Andrée Corvol. Paris : L'Harmattan, 1993.
- *Enseigner et apprendre la Forêt, XIXe-XXe siècles*, textes réunis et présentés par Andrée Corvol et Christian Dugas de la Boissonny. Paris : L'Harmattan, 1993.
- *La Forêt malade, XVIIIe-XXe siècle, débats anciens et phénomènes nouveaux*, sous la direction de Andrée Corvol. Paris : L'Harmattan, 1994.
- *Forêt et Guerre*, textes réunis et présentés par Andrée Corvol et Jean-Paul Amat. Paris : L'Harmattan, 1994.
- *Nature, environnement et paysage. L'héritage du XVIIIe siècle. Guide de recherche archivistique et bibliographique*, sous la direction de Andrée Corvol et de Isabelle Richefort. Paris : L'Harmattan, 1995.
- *Roger Blais. Agronome, forestier, historien, géographe et humaniste*, textes réunis et présentés par Andrée Corvol, Paul Arnould et Anny Bloch. Journée d'Hommage à Roger Blais, Paris, le 21 mars 1994. Paris : G.H.F.F.-O.N.F. 1996.
- *La Forêt : perceptions et représentations*, textes réunis et présentés par Andrée Corvol, Micheline Hotyat et Paul Arnould. Paris : L'Harmattan, 1997.

CAHIERS D'ÉTUDES

- «Forêt, villageois et marginaux», *Cahier d'Études Environnement, Forêt et Société, XVIe-XXe siècle*, sous la direction d'Andrée Corvol. Paris : I.H.M.C., n° 1, 1991 (épuisé).
- «Violences et Environnement», *Cahier d'Études Environnement, Forêt et Société, XVIe-XXe siècle*, sous la direction d'Andrée Corvol. Paris : I.H.M.C., n° 2, 1992 (épuisé).

- «Le Feu : à la maison, par les bois et dans les champs», *Cahier d'Études Environnement, Forêt et Société, XVIe-XXe siècle*, sous la direction d'Andrée Corvol. Paris : I.H.M.C., n° 3, 1993 (épuisé).
- «Milieux naturels et Identités culturelles», *Cahier d'Études Environnement, Forêt et Société, XVIe-XXe siècle*, sous la direction d'Andrée Corvol. Paris : I.H.M.C., n° 4, 1994 (épuisé).
- «La Nature en ville : rues, places, parcs et bois», *Cahier d'Études Environnement, Forêt et Société, XVIe-XXe siècle*, sous la direction d'Andrée Corvol. Paris : I.H.M.C., n° 5, 1995 (épuisé).
- «La Nature hors de la ville : les forêts péri-urbaines», *Cahier d'Études Environnement, Forêt et Société, XVIe-XXe siècle*, sous la direction d'Andrée Corvol. Paris : I.H.M.C., n° 6, 1996 (épuisé).
- « Une Nature pour citoyens ? », *Cahier d'Études Environnement, Forêt et Société, XVIe-XXe siècle*, sous la direction d'Andrée Corvol. Paris : I.H.M.C., n° 7, 1997.
- « Les matériaux de la ville : du bois au béton ? », *Cahier d'Études Environnement, Forêt et Société, XVIe-XXe siècle*, sous la direction d'Andrée Corvol. Paris : I.H.M.C., n° 8, 1998.

• Ces ouvrages doivent être commandés directement à l'éditeur ou dans n'importe quelle librairie. Les cahiers, eux, sont disponibles à l'Institut d'Histoire Moderne et Contemporaine, 45 rue d'Ulm, 75005-PARIS, moyennant 50 F., frais de port inclus.

