

ARCHITECTURE - Architecture, sciences et techniques

Sommaire

- Prise de vue
- **L'Antiquité gréco-romaine**
- **Les bâtisseurs du Moyen Âge**
- **L'âge classique et la tradition vitruvienne**
- **La remise en cause de la notion traditionnelle de solidité**
- **Le siècle de l'industrie**
- **Les ambiguïtés contemporaines**
- Bibliographie

Les auteurs

- **Antoine PICON**, professeur d'histoire de l'architecture et des techniques à la Graduate School of Design de l'université Harvard, Cambridge, Massachusetts
-

Comme production matérielle, mais aussi comme art investi d'une finalité expressive, l'architecture entretient de nombreux rapports avec les sciences et les techniques. De tels rapports peuvent être rangés sous deux rubriques. L'architecture fait tout d'abord appel à des savoirs et à des procédés scientifiques et techniques qui interviennent directement dans la conception et la réalisation des édifices : résistance des matériaux, procédés de

fabrication et d'assemblage des éléments constructifs, par exemple. Ce premier ensemble de savoirs et de procédés est communément désigné par le terme de construction. La construction fait partie intégrante de l'architecture, ainsi que l'ont rappelé d'âge en âge de nombreux théoriciens et praticiens. Les relations entre la discipline architecturale et le contexte scientifique et technique ne s'arrêtent pas là pour autant. Car l'architecture est solidaire de la culture au sens large du terme ; la vision du monde dont sont porteuses les sciences et les techniques, les interrogations qu'elles suscitent participent de la culture. L'architecture s'en inspire fréquemment, selon des modalités extrêmement variables, il est vrai. La référence peut être sans détour, comme dans ces édifices baroques qui jouent avec la lumière ainsi que pouvaient le faire les savants des XVII^e et XVIII^e siècles, en composant ou en décomposant les rayons du soleil, en les concentrant ou en les diffusant, dans le dessein d'en percer le secret. Mains projets contemporains entretiennent en revanche des rapports de nature plus symbolique avec l'univers des signaux et de flux, d'ondes et de particules dans lequel nous nous mouvons aujourd'hui.

Même si les liens entre construction et architecture sont toujours plus étroits que ceux qu'entretient cette dernière avec la culture scientifique et technique, ils présentent une diversité tout aussi remarquable. La construction peut être mise en scène ou au contraire masquée ; elle peut relever d'une logique de la performance dont l'édifice tout entier porte la marque ou se trouver soumise à des impératifs formels qui lui sont étrangers. Seule l'histoire permet d'ordonner quelque peu la diversité des types de relations entre architecture, sciences et techniques. Plus précisément, cette histoire semble placée sous le signe de tensions croissantes entre la discipline architecturale, la construction et la culture scientifique et technique. Semblables tensions sont à la fois riches de potentialités et porteuses de menaces pour l'architecture. Elles revêtent à partir d'un certain moment une portée institutionnelle et professionnelle, avec la dissociation des figures de l'architecte et de l'ingénieur qui s'amorce dès la fin du Moyen Âge pour se révéler dans toute son ampleur par la suite. Ce sont certains moments de cette évolution que nous voudrions évoquer en nous bornant à l'architecture occidentale, de l'Antiquité gréco-romaine à nos jours.

L'Antiquité gréco-romaine

Commencer cet examen avec l'Antiquité gréco-romaine se justifie par l'importance que revêtent les monuments antiques et les principes dont ils se réclament pour l'Occident qu'ils vont inspirer constamment à partir de la Renaissance. De la Grèce à Rome, on peut repérer d'autre part l'émergence de tensions qui vont réapparaître périodiquement dans l'histoire de l'architecture.

L'art grec accorde le plus grand prix à l'exécution, qu'il considère comme une condition indispensable de la beauté. Aux yeux des Grecs, l'artiste n'est jamais qu'un artisan, qu'un technicien d'un genre un peu particulier. Cette conception se vérifie particulièrement bien dans le domaine de l'architecture, même si celle-ci fait appel à des matériaux peu nombreux, le bois, l'argile, la pierre surtout avec laquelle on construit les temples, tandis que les dispositifs constructifs demeurent volontairement simples : les Grecs excluent l'arc et la voûte de leur répertoire pour ne retenir que le mur, la colonne et la plate-bande. Placées sous le signe d'une remarquable économie de moyens, construction et architecture sont intimement liées dans les temples des périodes préclassique et classique. Cette intime liaison se manifeste notamment dans l'importance prise par la muralité et dans le traitement minutieux de l'articulation entre colonne et plate-bande. Le temple grec se veut une structure fondée sur un système réglé de rapports logiques mais aussi dimensionnels entre les parties dont il se compose, système se réclamant bien entendu de l'arithmétique et de la géométrie. Par l'intermédiaire des corrections optiques, comme celle, pratiquée entre autres par Ictinos au Parthénon, qui consiste à bomber légèrement la plate-forme du temple afin d'éviter qu'elle ne paraisse déprimée en son centre, l'architecture participe également de tout un ensemble de réflexions en matière d'optique et de physiologie.

La période hellénistique, qui s'ouvre peu après la mort d'Alexandre en 323 avant Jésus-Christ, est marquée par une sophistication croissante des programmes et des procédés de construction. Palais et habitations particulières font leur apparition à côté des temples et des salles d'assemblées auxquels se limitait jusqu'alors la commande architecturale,

cependant que l'arc et la voûte deviennent d'usage fréquent. On assiste parallèlement à un début de dissociation entre ordonnance extérieure et structures des édifices. Les progrès de l'architecture mettent en crise le principe d'unité structurelle du classicisme grec. Ces progrès sont indissociables d'un mouvement d'investigation scientifique et technique beaucoup plus général, auquel participent des savants comme Euclide, Archimède ou Ératosthène, des ingénieurs comme Ctésibios, Philon de Byzance ou Héron d'Alexandrie. De la géométrie à l'astronomie, de l'hydraulique à la science des machines, c'est un nouveau système technique qui se met en place, système dans lequel l'architecture intervient tout naturellement. Ne nécessite-t-elle pas une bonne connaissance des mathématiques, n'a-t-elle pas recours aux machines les plus diverses ?

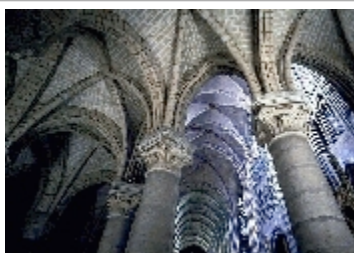
D'un point de vue architectural aussi bien que scientifique et technique, Rome apparaît comme l'héritière de la civilisation hellénistique. La dissociation entre forme et structure se voit accentuée par l'innovation constructive que représente l'*opus cæmenticum*, le béton romain, qui permet de bâtir au moyen d'un mélange de mortier et d'agrégats avant de procéder à un habillage de brique ou de pierre. La plupart des grands monuments de la Rome impériale, le Panthéon notamment, vont faire appel à cette technique. Auteur du seul traité d'architecture qui nous soit parvenu et grand admirateur des architectes de la période hellénistique comme Hermogène, Vitruve se montre pourtant hostile à l'*opus cæmenticum* au nom de la probité constructive qui réclame d'accorder l'apparence à la structure de l'édifice. Composé vers la fin du I^{er} siècle avant Jésus-Christ, le *De architectura* n'en témoigne pas moins des relations de plus en plus ambiguës qu'entretiennent l'architecture et la construction. Bien qu'il fonde l'architecture sur la nécessité d'abriter les hommes et donc sur la construction, Vitruve distingue clairement la discipline architecturale du simple art de bâtir. À la solidité et à l'utilité, qualités essentielles de l'art de bâtir, doit s'ajouter la beauté qui naît de la méditation de l'usage et de son inscription dans la pierre et le marbre. Solidité, utilité, beauté - cette triade sera porteuse de bien des interrogations.

Mû par le désir de conférer à son art, souvent pratiqué par des esclaves dans la Rome des débuts de l'ère chrétienne, le même prestige que celui dont

jouissent les arts libéraux, Vitruve se livre à un travail de codification des proportions données par les architectes grecs à leurs édifices. Il insiste dans le même esprit sur les rapports qu'entretient la discipline architecturale avec la philosophie, les mathématiques, l'astronomie et la musique. À l'en croire, l'architecte doit même posséder des connaissances médicales. Cependant, les liens entre architecture et techniques de l'ingénieur apparaissent beaucoup plus convaincants. Le *De architectura* consacre d'ailleurs un livre entier à l'hydraulique, un autre aux machines et aux engins de guerre. Ingénieur autant qu'architecte, Vitruve achève de fixer dans son traité l'image d'une discipline architecturale en prise sur l'ensemble des procédés au moyen desquels l'homme agit sur la nature.

Les bâtisseurs du Moyen Âge

Si l'architecture gréco-romaine avait vu se distendre quelque peu les liens entre architecture et construction, ces derniers se resserrent à nouveau au Moyen Âge. D'importance variable selon les pays, l'influence romaine se conjugue avec des apports byzantins et orientaux. Voûtes en berceau, calottes et coupes en pierre d'une facture souvent remarquable se multiplient dans les églises romanes d'Occident, posant des problèmes de stabilité de plus en plus complexes à résoudre. Les piles cruciformes qui font leur apparition dès le X^e siècle leur apportent un début de réponse. Expérimentée en Île-de-France au cours du XII^e siècle, la voûte sur croisée d'ogives va conduire, quant à elle, à un renouvellement complet des techniques de voûtement des églises de grandes dimensions. Au plein cintre roman succède un mode de couverture beaucoup plus léger, permettant de donner une plus grande hauteur aux édifices et de percer plus largement les murs pour faire entrer la lumière. Marqué par des performances de plus en plus spectaculaires, le temps des cathédrales gothiques peut alors s'ouvrir.



Notre-Dame-de-Paris, les voûtes

Notre-Dame-de-Paris, voûtes d'ogives du déambulatoire, vers
1140-1144.

Crédit :

Peter Willi/ The Bridgeman Art Library

Tous les documents proposés par Encyclopoedia Universalis sont légalement autorisés pour l'usage pédagogique

Le gothique réalise l'une des plus étonnantes synthèses entre architecture et construction qu'ait connues l'Occident. À son apogée, la réflexion des maîtres d'œuvre gothiques part de la voûte dont les poussées canalisées par l'intermédiaire des arcs en ogive sont reprises au moyen de piles cruciformes, de contreforts et d'arcs-boutants, de manière à transformer les édifices en un système dynamique de butées et de contrebutées qui s'exprime avec une franchise tout à fait remarquable. La minceur des appuis verticaux et obliques révèle les lignes de force de la structure. Dans les cathédrales des XII^e et XIII^e siècles, la construction est mise en scène au même titre que le décor sculpté dont s'ornent les façades. Confiée à des spécialistes dont les compétences tiennent à la fois de celles de l'architecte et de l'ingénieur, comme Pierre de Montreuil ou le mythique Erwin von Steinbach, la conception ne procède pas de calculs savants ; en dépit de sa hardiesse, elle participe d'un ensemble d'intuitions structurelles et de savoir-faire lentement sédimentés. Au sein de cet ensemble, les préoccupations de rationalisation des tâches de mise en œuvre occupent une place importante. Le tracé des voûtes est par exemple indissociable des procédés de taille des pierres et d'appareillage. L'architecture gothique témoigne d'un souci de prise en compte globale du processus de conception-réalisation. Ce souci est bien sûr lié à la taille et à la complexité croissantes des chantiers dont l'emprise au sol des cathédrales donne une certaine idée : 5 500 mètres carrés à Paris, 6 200 à Bourges, 8 000 à Amiens.

Tandis que l'art roman aime le symbolisme des nombres, qui renvoyait directement au message biblique et à ses interprétations, les bâtisseurs gothiques révèrent avant tout la géométrie. Mais leur géométrie, différente en cela de celle de Vitruve qui reposait avant tout sur des rapports

dimensionnels entre le tout et les parties, possède un tour beaucoup plus appliqué. C'est une géométrie de la règle et du compas qui enseigne comment coordonner le plan et l'élévation de l'édifice, mais aussi comment définir les gabarits des pierres qui doivent permettre sa réalisation. Outil de conception, la géométrie représente également un moyen de communication entre maîtres d'œuvre, tailleurs de pierre et appareilleurs.

Bien que le texte vitruvien soit largement ignoré des bâtisseurs de cathédrales, leur intérêt pour les techniques les plus diverses rappelle celui dont faisait preuve l'ingénieur romain. Cet intérêt est manifeste dans le carnet de dessins annotés laissé par Villard de Honnecourt en plein XIII^e siècle. Dans ce document d'un intérêt exceptionnel, même si l'on sait peu de chose de son auteur - dans lequel certains voient un architecte alors que d'autres font de lui un simple amateur d'architecture -, les liens entre l'édification, le génie civil et la connaissance des machines au sens large du terme portent la marque de l'héritage antique, des conceptions techniques des ingénieurs hellénistiques en particulier. Cet héritage va être puissamment réactualisé par la découverte de Vitruve qui s'opère à la charnière du Moyen Âge et de la Renaissance. Traduit et lu avec passion par les humanistes, l'enseignement du *De architectura* va reléguer au second plan une bonne partie des savoir-faire des bâtisseurs de la période gothique.

L'âge classique et la tradition vitruvienne

La rupture entraînée par la Renaissance n'est pas que théorique. En même temps que l'on redécouvre Vitruve s'affirme en effet une nouvelle figure d'architecte-humaniste dont un Filippo Brunelleschi (1377-1446) constitue l'une des premières incarnations. L'auteur de la coupole de la cathédrale de Florence se pense en effet comme un intellectuel fondamentalement différent des autres acteurs de la production du bâti. L'ambition qui l'anime de contrôler les tâches de chantier s'inscrit du même coup dans une nouvelle vision des procédures d'édification. Semblable vision se précise par la suite dans l'œuvre d'un Leon Battista Alberti, dont le *De re aedificatoria* reprend la triade vitruvienne solidité, utilité, beauté en la réinterprétant à la lumière des acquis les plus récents de l'humanisme. Si les trois termes empruntés à Vitruve sont encore d'une importance comparable sous la plume d'Alberti, la

tradition vitruvienne va mettre par la suite l'accent sur les deux derniers au détriment des questions constructives. L'économie spatiale des projets, leur soumission aux impératifs du beau en architecture vont primer sur les techniques utilisées pour les réaliser. Dans le dessein de se distinguer des maçons et des entrepreneurs, l'architecte-humaniste, l'architecte-intellectuel, aura tendance à privilégier les aspects qui distinguent sa pratique du simple art de bâtir.

Cette évolution est lente au départ, surtout dans les pays d'Europe du Nord où l'héritage médiéval demeure longtemps vivace. De nombreux architectes vont d'ailleurs chercher à concilier les acquis constructifs du Moyen Âge avec les enseignements de l'Italie. En France, l'œuvre d'un Philibert Delorme (1514-1570) porte toute entière la marque de cette entreprise de conciliation, depuis la galerie de la maison Bullioud, à Lyon, jusqu'aux grandes compositions d'Anet et des Tuileries. Chez Delorme, le trait médiéval de coupe des pierres donne notamment naissance à des réalisations stéréotomiques sophistiquées qui viennent se combiner avec les formes de la Renaissance italienne. D'autre part, en consacrant une partie importante de son *Premier Tome de l'architecture* paru en 1567 à l'art du trait, l'architecte veut l'arracher à la routine des gens de métier pour le rattacher à une pratique plus savante de l'architecture.

L'importance accordée par Delorme à la construction dans ses écrits tranche sur le contenu de la plupart des traités d'architecture ultérieurs dans lesquels les ordres et plus généralement les considérations formelles envahissent presque tout le champ de la théorie. Cette indifférence apparente à l'égard des procédés de réalisation est rendue possible par la relative stabilité du monde de la construction, stabilité qui autorise son contrôle sur le plan formel. La pierre, la brique et le bois représentent des matériaux de base. Leur permanence du XVI^e au XVIII^e siècle rend plus compréhensibles les silences de la tradition vitruvienne à l'égard de la construction.

Mais les techniques n'en évoluent pas moins. Dans de nombreuses villes, la pierre ou la brique chassent progressivement le bois et le torchis des constructions médiévales. Les progrès de la sidérurgie se traduisent par une consommation de plus en plus importante de fer dans le gros et le second

œuvre. Les nouveaux savoir-faire qui font leur apparition ne bouleversent pas pour autant le cadre de la production ordinaire du bâti.

De nombreux monuments placent toutefois la tradition en position délicate. Le mode de construction qu'annoncent les colonnes dont s'ornent palais et églises n'a souvent rien à voir avec le comportement véritable de la maçonnerie. Subordonnée aux impératifs du beau en architecture, la construction soumet celle-ci en retour à des tensions génératrices de conflit.

Ces tensions sont rarement prises en compte dans le discours des architectes, l'accord entre solidité, utilité et beauté apparaissant comme une sorte de postulat de base de leur discipline. Cela n'empêche pas certains d'entre eux de se livrer à une exploration assez systématique des limites de la tradition vitruvienne. Sous cette rubrique figurent à coup sûr les expérimentations formelles de représentants du baroque italien comme Francesco Borromini ou Guarino Guarini, expérimentations dont la géométrie complexe, faisant appel aux multiples propriétés du cercle et de l'ellipse, s'écarte des tracés régulateurs à la manière antique que prônent la plupart des auteurs de traités. Si la production française demeure très en retrait des audaces italiennes, l'ambiguïté des relations entre architecture et construction se manifeste encore plus nettement dans des réalisations comme la colonnade du Louvre, commencée en 1667. Tout en se réclamant de la pureté de lignes des péristyles gréco-romains, l'édifice fait appel à des techniques bien différentes de celles qu'avait employées l'Antiquité, avec ses colonnes accouplées et ses grands linteaux de pierre construits par claveaux comme autant de voûtes plates stabilisées au moyen d'agrafes et de tirants métalliques. L'écart entre le modèle vitruvien et les procédés employés pour le réaliser atteint ici son paroxysme.

L'architecture n'en conserve pas moins de multiples liens avec les sciences et les techniques. L'édification n'a-t-elle pas recours à toutes sortes de machines, des plus simples comme les treuils et les chèvres aux plus complexes comme les dispositifs employés pour ériger l'obélisque de la place Saint-Pierre de Rome ou les grandes pierres monolithes qui couvrent le fronton de la colonnade du Louvre ? Le savoir de l'architecte n'est-il pas à l'image de celui du créateur qui a ordonné le monde en observant certains rapports de proportionnalité ? C'est dans un tel contexte que doit être

replacée l'extraordinaire fortune des spéculations concernant la forme et les dimensions données par les Hébreux au Temple de Jérusalem sous la dictée de Dieu, spéculations dans lesquelles donnent aussi bien le jésuite espagnol Giovan Battista Villalpando qu'Isaac Newton qui ne dédaigne pas semblable recherche vers la fin de sa vie.

En marge de ces considérations où la raison le dispute à la foi, le statut éminent de l'architecture renvoie bien entendu à l'universalité dont se pare l'outil géométrique. Dans la recherche des lois de la nature, les savants utilisent souvent des méthodes proches de celles qui servent à définir les relations entre les différents membres d'une ordonnance architecturale. De nombreux savants, géomètres ou physiciens sont d'ailleurs aussi des architectes : Christopher Wren en Angleterre, François Blondel ou Philippe de La Hire en France. L'architecture fournit en outre matière à des problèmes géométriques et physiques stimulants. Le tracé des voûtes fait par exemple appel à des techniques de tracé particulièrement difficiles à maîtriser. Le mathématicien Girard Desargues consacre un traité entier au sujet en 1640. Par la rigueur de sa démarche qui ouvre la voie aux travaux de géométrie projective du XIX^e siècle, Desargues se situe toutefois en marge des préoccupations plus terre à terre des architectes et des appareilleurs qui consultent plutôt les ouvrages de Mathurin Jousse ou du père Derand.

Certains bâtiments portent clairement l'empreinte des préoccupations scientifiques du temps, que l'on songe par exemple à ces églises baroques où le traitement de la lumière revêt une importance extrême. Une mention spéciale doit être faite de l'Observatoire de Paris, projeté en 1666-1667 par Claude Perrault pour abriter les activités de l'Académie des sciences. L'édifice est en effet conçu comme une sorte de grand instrument scientifique dont les différentes façades indiquent la méridienne ainsi que la direction des levers et couchers du soleil aux solstices et aux équinoxes, tandis qu'un puits traverse de part en part le bâtiment dans le dessein de servir aux observations astronomiques zénithales.

À la charnière des XVII^e et XVIII^e siècles, les relations entre architecture, sciences et techniques vont commencer à se distendre quelque peu cependant, le progrès scientifique conduisant à une relativisation des enjeux

architectoniques au profit de réflexions orientées vers la découverte de lois naturelles antérieures à toute spatialisation. Les limites de la tradition vitruvienne apparaissent au grand jour vers la même époque ; elles vont conduire à une reformulation complète des fondements et du statut de la discipline architecturale.

La remise en cause de la notion traditionnelle de solidité

Le XVIII^e siècle voit la montée en régime des préoccupations constructives. En Italie, celles-ci occupent une large place dans l'enseignement du moine vénitien Carlo Lodoli (1690-1761), qui entend fonder l'architecture sur les lois de la statique et sur les caractéristiques des divers matériaux, plus essentielles à ses yeux que les impératifs d'ordre esthétique. En France, les écrits d'un Pierre Patte sont non moins révélateurs de la curiosité qui s'attache aux questions constructives.

La production du bâti ressemble pourtant à s'y méprendre à celle de l'âge classique. L'attention portée à la construction participe en réalité d'une volonté de rationalisation des procédures d'édification qui ne modifie pas encore les grands équilibres technico-économiques. En l'absence d'innovations décisives, il s'agit de recenser l'existant, d'en exploiter pleinement les possibilités dans un souci d'efficacité renforcée. Ce souci d'efficacité conduit à accorder moins d'importance aux proportions des ordres qui constituaient jusque-là le noyau de la théorie architecturale.

Les réflexions des Lumières sont par ailleurs stimulées par la réalisation de toute une série d'édifices dont l'audace va croissant. En France, la colonnade du Louvre sert de modèle à des églises où les arcades traditionnelles cèdent la place à des colonnes isolées supportant des linteaux construits par claveaux. Dans son *Essai sur l'architecture* de 1753, l'abbé Laugier rattache l'usage de colonnes isolées et de linteaux à la construction primitive en bois. Les temples gréco-romains fournissent bien entendu un autre modèle plausible. Dans un édifice comme l'église Sainte-Geneviève, de Jacques Germain Soufflot, l'actuel Panthéon, le primitivisme et le souci de renouer avec l'élégance des péristyles antiques s'accompagnent toutefois d'un tel

déploiement d'artifices - tirants en métal, voûtes de grande portée, arcs-boutants - que l'on est en réalité plus proche du fonctionnement dynamique des cathédrales gothiques que du caractère plus statique des temples grecs ou romains. Les références s'additionnent sans se confondre.

Ce qui naît peut-être de cet ensemble de réflexions et d'expériences, c'est l'idée moderne de structure, fondée sur l'identification de modèles structuraux et sur la prise de conscience de l'écart qui sépare presque toujours le modèle de sa réalisation. Dans son acception moderne, une structure est également caractérisée par la canalisation des efforts qu'elle permet ainsi que par la performance qu'elle accomplit. Canalisation des efforts et performance posent le problème des calculs qui doivent permettre de vérifier le bien-fondé des hypothèses de conception.

Au cours du XVIII^e siècle, l'usage du calcul infinitésimal se répand dans les milieux scientifiques en ébranlant du même coup la toute-puissance de la géométrie. L'analyse va progressivement devenir l'instrument par excellence du calcul des structures. L'une de ses premières applications est due à l'ingénieur militaire et physicien Charles Augustin Coulomb, qui révolutionne le calcul des voûtes dans un essai soumis en 1773 à l'Académie des sciences. Bien que des théories comme celle de Coulomb rencontrent peu d'écho parmi les praticiens, ces derniers pressentent confusément qu'une page de l'histoire de la conception des structures est sur le point d'être tournée.

Dans les années 1740 déjà, des savants et des ingénieurs comme Ruggiero Guiseppa Boscovitch et Giovanni Poleni s'étaient penchés sur les problèmes de stabilité posés par le dôme de Saint-Pierre de Rome en tentant d'y appliquer les résultats scientifiques les plus récents. À la fin du siècle, l'église Sainte-Geneviève, de Soufflot, apparaît à son tour comme un véritable laboratoire où sont testées les théories les plus diverses, avec un succès très relatif il est vrai.

Si les Lumières sont loin de parvenir à des résultats satisfaisants concernant la résistance des matériaux et l'application des théories physico-mathématiques à la stabilité des constructions, tous leurs tâtonnements vont dans le même sens, celui d'une remise en cause radicale de l'approche vitruvienne de la solidité. Dans son acception traditionnelle, la solidité tenait à

un dimensionnement correct, effectué au moyen d'outils essentiellement géométriques, mais elle correspondait également à l'impression d'harmonie que le spectateur devait éprouver devant l'édifice réalisé. La solidité marquait ainsi l'accord profond qui était censé régner entre les lois naturelles de la pesanteur et de la cohésion des corps et les enseignements de la théorie. Au XVIII^e siècle, l'apparition d'ouvrages de plus en plus audacieux, semblant défier le vide, rend cet accord moins évident. La géométrie des proportions semble appelée à céder la place à des procédures de dimensionnement moins directement liées aux canons esthétiques, procédures conduisant à une dissociation entre solidité réelle et impression de solidité. Un écart d'un nouveau type s'accuse entre architecture et construction, la première raisonnant en termes formels, avec leurs connotations psychologisantes, tandis que la seconde prépare l'avènement d'outils physico-mathématiques inédits.

Cet écart va être mis à profit par les ingénieurs qui vont se faire les champions d'une solidité reposant désormais sur la science dont les enseignements doivent, selon eux, primer sur toute autre considération. À la charnière des XVIII^e et XIX^e siècles, les professions d'architecte et d'ingénieur, longtemps proches l'une de l'autre, commencent à diverger inexorablement. À la complexité nouvelle des relations entre architecture et construction vont se superposer des tensions professionnelles appelées à prendre de plus en plus d'importance.

Le siècle de l'industrie

Au cours du XIX^e siècle se produit une diversification sans précédent des techniques de construction. Au sein de cet ensemble de transformations, le développement de l'architecture métallique constitue le phénomène le plus marquant. Aux premiers édifices faisant appel à la fonte succèdent des constructions en fer puis en acier. Tandis que la fonte, qui résiste mal aux efforts de traction, est principalement utilisée sous forme de colonnes et d'arcs, comme à la bibliothèque Sainte-Geneviève achevée en 1850 par Henri Labrouste, le fer et l'acier vont conduire à des dispositions originales, définitivement affranchies des préceptes vitruviens. Avec le métal apparaît

d'autre part un mode de construction dans lequel les sollicitations auxquelles un bâtiment se trouve soumis du fait de son usage ne sont plus négligeables par rapport à son poids propre. La construction métallique va du même coup stimuler durablement les réflexions des architectes et des ingénieurs et conduire à un travail d'expérimentation et de normalisation d'une ampleur sans précédent.

Dès le départ, la minceur de l'architecture métallique et les effets de transparence qu'elle autorise provoquent l'admiration. Le métal ne serait-il pas le matériau par excellence de l'avenir, se demandent les visiteurs de l'Exposition universelle de Londres en 1851 qui arpentent l'immense nef du Crystal Palace de Joseph Paxton. La recherche de la performance va caractériser par la suite bien d'autres réalisations d'architectes et d'ingénieurs. À côté de la tour Eiffel, la galerie des Machines de l'Exposition universelle de 1889, conçue par l'architecte Ferdinand Dutert et l'ingénieur Victor Contamin, établit un record avec ses 420 mètres de longueur, ses 115 mètres de largeur pour un peu plus de 43 mètres de hauteur. Quoique moins spectaculaire, la mise au point d'édifices à pans de fer comme l'usine Menier de Noisiel, construite en 1871-1872 par Jules Saulnier, ouvre bien d'autres perspectives. C'est sur le même principe que seront construits à Chicago les premiers immeubles de grande hauteur de William Le Baron Jenney et Louis Sullivan.



Transept de Crystal Palace

Le transept du Crystal Palace pendant l'exposition de 1851 à Hyde Park, lithographie de G. Hawkins.

Crédit :

The Bridgeman Art Library

Tous les documents proposés par Encyclopoedia Universalis sont légalement autorisés pour l'usage pédagogique



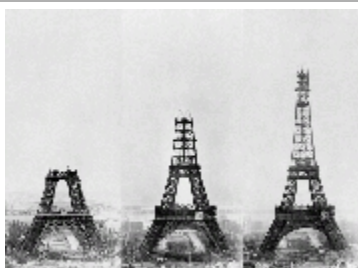
Gustave Eiffel

L'ingénieur français Gustave Eiffel (1832-1923), à gauche, sur l'escalier de la tour Eiffel. Il réalisa ce monument pour l'Exposition universelle de 1889, à Paris.

Crédit :

Hulton Getty

Tous les documents proposés par Encyclopoedia Universalis sont légalement autorisés pour l'usage pédagogique



Construction de la tour Eiffel

Étapes de la construction de la tour Eiffel (1887-1889). Photographie : Théophile Féau (1839-1892).

Crédit :

Hulton Getty

Tous les documents proposés par Encyclopoedia Universalis sont légalement autorisés pour l'usage pédagogique

L'évolution de la construction au XIX^e siècle ne se limite pas au développement de l'architecture métallique, loin s'en faut. Un autre matériau fait son apparition, de manière encore marginale il est vrai : le béton. Mis au point pour le génie civil, le béton est employé dès 1850 dans le bâtiment par François Coignet. Son essor véritable date toutefois de la dernière décennie du siècle avec l'introduction d'armatures métalliques destinées à lui conférer une meilleure résistance à la traction. Les réalisations vont alors se multiplier en même temps que les auteurs de systèmes de béton armé, au premier rang desquels figure François Hennebique.

La mise en œuvre de matériaux plus traditionnels comme la brique se perfectionne également. On assiste par ailleurs à l'industrialisation de toute une série de composants du bâtiment comme les tuiles ou certains produits verriers. Enfin, ce tour d'horizon de l'évolution de la construction ne serait pas complet sans la mention des progrès que connaissent le chauffage, l'éclairage et la ventilation des édifices. Une exigence nouvelle de confort conduit à la multiplication des dispositifs techniques dans les constructions tant publiques que privées.

Le dynamisme du monde de la construction rend ses relations avec l'architecture encore plus complexes qu'au XVIII^e siècle. Les nouvelles techniques doivent en effet s'intégrer au cadre d'une discipline architecturale qui se met à explorer son histoire, qui multiplie les édifices néo-grecs, néo-gothiques ou néo-Renaissance, convaincue qu'elle est de vivre une époque de transition incapable de définir une esthétique qui lui appartiendrait en propre. Cette esthétique, les ingénieurs sont persuadés de la découvrir en se laissant guider par les rythmes de l'innovation. Moins confiants dans les seules ressources de la technique, les architectes en tempèrent généralement l'expression au nom d'une culture aux références historicisantes. Mais peut-on manipuler des éléments architectoniques empruntés au passé en les isolant de leur contexte, en rompant le lien qui les unissait aux procédés constructifs de leur temps ? Est-il par exemple légitime d'habiller une gare de colonnes ou de galbes alors que sa halle comprend des colonnes en fonte et des fermes à la Polonceau ? Dissocier forme architecturale et techniques ne laisse pas de poser bien des questions.

Ces questions trouvent peu d'écho dans une institution comme l'École des beaux-arts où l'on enseigne alors avant tout la composition et la décoration des édifices auxquelles la construction se trouve clairement subordonnée. En revanche, elles vont être reprises par des architectes comme Henri Labrouste, Léonce Reynaud ou Eugène Viollet-le-Duc, que l'on peut qualifier de rationalistes dans la mesure où toute leur ambition consiste à raisonner l'architecture dans ses rapports avec le corps social, et bien sûr avec la construction.

C'est dans le gothique que Viollet-le-Duc (1814-1879), qui apparaît rétrospectivement comme le théoricien le plus rigoureux de ce courant rationaliste, voit l'une des manifestations les plus élevées des rapports organiques entre l'état de la civilisation, les formes architecturales et les procédures d'édification. Sous cet angle, le gothique constitue à ses yeux un modèle insurpassable ; il s'agit d'en percer au jour le principe profond, de s'approprier son esprit au lieu d'en suivre servilement les formes comme le font la plupart des architectes néo-gothiques. Dans le *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI^e au XVI^e siècle* comme dans les *Entretiens sur l'architecture*, la construction apparaît alors comme le noyau de la discipline architecturale, le lieu où se rencontrent, sous le signe de la rigueur scientifique et technique, les déterminations sociales et l'invention formelle. Elle possède en outre un caractère dynamique, avec le souci constamment exprimé de ne pas séparer l'objet architectural du processus qui lui donne naissance.

À côté de ce dynamisme, la démarche constructive se pare de toute une série de dimensions nouvelles, une dimension sociale tout d'abord avec l'accent mis par des auteurs comme Viollet-le-Duc sur les liens qui unissent à différentes époques les dispositifs structurels dominants et la culture. Les choix constructifs relèvent également d'une morale aux accents assez nouveaux. Vérité et mensonge dans la mise en œuvre des matériaux, dévoilement ou dissimulation de la structure représentent autant d'alternatives devant lesquelles les architectes se trouvent désormais placés.

On retrouve le même genre de morale constructive chez l'architecte allemand Gottfried Semper, qui se livre à une critique tout aussi virulente que celle des Français des aberrations auxquelles conduit l'éclectisme. Pour

Semper, l'ornementation elle-même doit émaner de la technicité que requiert la mise en œuvre rationnelle des matériaux. Si ce genre d'argumentation rencontre un peu partout de fortes résistances, la plupart des architectes sont conscients de vivre à une époque où des liens décisifs se tissent entre architecture et technique ou plus précisément entre architecture et industrie.

L'essor de la construction métallique est là pour en témoigner, au même titre que l'utilisation massive d'éléments décoratifs produits en série.

Tandis qu'elle se rapproche de la production manufacturière, la discipline architecturale devient cependant de plus en plus étrangère à l'esprit scientifique du temps. Certes, le développement du calcul analytique permet de modéliser les phénomènes physiques avec une précision que ne possédaient par les calculs du XVIII^e siècle ; la science se réfère ce faisant à des modèles d'intelligibilité qui ont peu de chose à voir avec les entités que manipulent les architectes. La construction constitue simplement l'un des terrains d'application de la résistance des matériaux et de la théorie mathématique de l'élasticité sur laquelle elle repose en grande partie. Née dans les années 1820-1830 des efforts conjugués de savants et d'ingénieurs comme Navier, Cauchy, Poisson ou Lamé, la théorie de l'élasticité permet de dimensionner les structures sans véritable dialogue avec la conception architecturale. En dépit des prétentions à l'universalité affichées par Viollet-le-Duc, Semper et leurs héritiers, l'architecture se range durablement du côté de l'art, ce supplément d'âme de la société industrielle parvenue à maturité.

Les ambiguïtés contemporaines

Au XX^e siècle, la diversification des techniques qui s'était amorcée avec la révolution industrielle s'intensifie encore. Cette diversification concerne tout d'abord les matériaux. Tandis que le béton armé envahit progressivement le secteur de la construction, l'ingénieur Freyssinet met au point les techniques de précontrainte pendant l'entre-deux-guerres. Leur succès ne tardera guère, comme en témoignent les ouvrages réalisés conformément à ses enseignements en Europe puis aux États-Unis dans les années 1940-1950. Bien d'autres matériaux vont faire leur apparition par la suite : produits dérivés du bois comme les agglomérés, les contreplaqués ou les lamellés-

collés, aciers et verres spéciaux, plastiques, colles. Les techniques de chantier évoluent également avec la préfabrication de nombreux éléments de gros œuvre et de second œuvre et la mécanisation de plus en plus poussée des tâches qui vont permettre de produire logements et équipements à une échelle inconnue jusque-là. La reconstruction rapide de l'Europe à la fin du second conflit mondial n'aurait pas été possible sans ce changement d'échelle de la production du bâti dont témoigne la réalisation des grands ensembles des années 1950-1970.

En matière d'architecture, le progrès technique abolit de nombreuses contraintes. Avec les systèmes poteaux-poutres en béton, puis avec les premiers murs-rideaux, il devient possible de désolidariser la structure de l'enveloppe, comme le fait remarquer très tôt Le Corbusier. Structure et enveloppe se confondent au contraire dans les ouvrages de grande portée faisant appel aux propriétés des systèmes nervurés, des voiles minces ou des coques, construits par des ingénieurs comme Torroja, Candela ou Nervi. Par-delà ces contrastes qui s'accusent, toutes les formes sont a priori réalisables, ce qui était loin d'être le cas auparavant. Devant la richesse des choix constructifs et formels qui s'offrent aux concepteurs, la question de la morale constructive prend un nouveau relief. En France, cette morale trouve l'un de ses défenseurs les plus convaincus en la personne d'Auguste Perret. Par l'accent qu'il met sur l'ossature, le grand pionnier de la construction en béton armé apparaît comme l'héritier de la tradition rationaliste.



Hangar de l'aérodrome d'Orbetello

Hangar de l'aérodrome d'Orbetello, en Toscane (Italie), réalisé en 1940 par Pier Luigi Nervi (1891-1979).

Crédit :
Hulton Getty

Tous les documents proposés par Encyclopoedia Universalis sont légalement

autorisés pour l'usage pédagogique

En dépit des nouveaux moyens dont ils disposent, les architectes de ce siècle ont souvent tendance à se sentir dépassés par l'industrie, en retard sur son éclatante modernité. Tel est le sentiment qui anime par exemple Le Corbusier dans *Vers une architecture* (1924) où l'apologie du « standart » le conduit à mettre en parallèle les formes exactes du Parthénon et les lignes non moins exactes des automobiles les plus récentes afin de critiquer le passéisme dont fait preuve selon lui la discipline architecturale dans son acception académique. De même que le taylorisme tend à rationaliser les opérations et les temps de travail, la redéfinition de l'espace architectural doit conduire à une reformulation des rythmes de la vie quotidienne en accord avec les nouvelles exigences de la société industrielle.

Les villas que construit alors Le Corbusier font cependant appel à des procédés pour le moins artisanaux. C'est que la « machine à habiter » dont se réclame l'architecte fonctionne sur un registre spatial auquel la construction doit se plier. Chez les architectes de la branche allemande du mouvement moderne, Gropius et Mies van der Rohe en tête, la dimension constructive s'impose avec plus de netteté. Elle n'en demeure pas moins subordonnée à la recherche d'effets plastiques d'une tout autre portée. Le caractère toujours unique de l'œuvre architecturale qui contraste avec la production en série des objets industriels, la dimension esthétique dont elle se pare constituent autant d'obstacles à la réintégration de l'architecture dans le champ de l'activité technique la plus générale.

C'est à cette réintégration que vont pourtant s'atteler toute une lignée d'architectes, d'ingénieurs et d'autodidactes, comme Jean Prouvé ou Buckminster Fuller, qui cherchent à renouer avec une certaine pureté de l'invention constructive. La beauté des profilés métalliques conçus par Prouvé ou le caractère saisissant des dômes géodésiques de Fuller ne veulent rien devoir à la tradition académique ; ils sont en effet conçus comme autant de réponses à des besoins génériques de l'espèce humaine, réponses renvoyant à la fois à l'ensemble des techniques contemporaines et au caractère toujours singulier du processus d'édification.



Le pavillon des États-Unis

Le pavillon des États-Unis réalisé par l'ingénieur Richard Buckminster Fuller pour l'Exposition de Montréal en 1967.

Crédit :

Hulton Getty

Tous les documents proposés par Encyclopaedia Universalis sont légalement autorisés pour l'usage pédagogique

Par leur optimisme technologique comme par leur rejet de la figure traditionnelle de l'architecte-artiste, Prouvé et Fuller vont exercer une grande influence sur l'architecture des années 1950-1970 qui correspond à l'apogée d'une certaine réflexion structurelle. Les mégastructures connaissent à cette époque un vif succès chez le groupe anglais Archigram et chez les métabolistes japonais. Leur vogue va bien sûr de pair avec l'engouement qui s'attache au même moment à la notion de structure dans les domaines les plus divers. Tout est structure, de la nature à l'homme, de la molécule d'ADN au fonctionnement de l'esprit créateur.

Cette conception holistique va décliner par la suite tandis que les architectes vont redécouvrir les vertus de la ville ancienne. Chez les représentants les plus authentiques du courant high-tech, Renzo Piano, Richard Rogers ou Norman Foster, l'héritage de Prouvé et Fuller conserve cependant tout son prestige. Affranchi de l'utopie méga-structurelle, rendu en quelque sorte à la pureté de son dessein initial, il est placé au service de projets qui mettent en scène la construction en référence à l'univers de l'industrie et de la machine, non sans tomber parfois dans un certain formalisme. Entre architecture, sciences et techniques, le fossé s'est en effet singulièrement creusé depuis le XIX^e siècle, si bien que ce n'est qu'au travers de la manipulation des signes qu'il se trouve la plupart du temps surmonté

par les concepteurs. Un Jean Nouvel semble l'avoir très bien compris lorsqu'il conçoit des ambiances technologiques sans pour autant chercher à combler l'écart qui s'accuse entre un univers scientifique et technique de moins en moins spatial et la discipline architecturale.

Cet écart est-il désormais inévitable ? Les réflexions visant à renouer des liens riches de sens entre architecture, sciences et techniques empruntent actuellement trois directions. Certains veulent faire de la pratique du projet le prototype des processus de conception auxquels s'intéressent tant les sciences cognitives. Dans cette hypothèse, l'architecture aurait beaucoup à apprendre aux scientifiques qui réfléchissent aux mécanismes mentaux mis en jeu dans la production des artefacts. D'autres considèrent plutôt la complexité croissante des bâtiments, complexité constructive, mais aussi fonctionnelle avec l'introduction des dispositifs électroniques et informatiques les plus récents. Dans cette perspective, la maison ou l'immeuble de bureaux « intelligents » pourraient bien reconquérir cette technicité de pointe qui fait défaut à l'architecture contemporaine. Une dernière voie consiste enfin à explorer les liens entre l'organisation de l'espace et les manifestations d'ordre psychologique qu'il provoquent. Dans tous les cas, il s'agit bien de surmonter l'isolement dont croient souffrir la discipline architecturale et ses représentants dans ce monde de flux immatériels que les sciences et les techniques tissent autour de nous. En l'absence d'une théorie de l'architecture faisant l'objet d'un vaste consensus à l'instar du vitruvianisme, il ne peut s'agir cependant que de tentatives dispersées. Les rapports entre architecture, sciences et techniques renvoient ainsi à l'une des causes majeures d'incertitude de la création architecturale.

Écrit par **Antoine PICON**

J.-B. ACHE, *Éléments d'une histoire de l'art de bâtir*, Le Moniteur, Paris, 1970

Actes du Colloque international Viollet-le-Duc, Nouvelles Éditions latines, Paris, 1982

J.-P. ADAM, *La Construction romaine*, Picard, Paris, 1989

Les Bâisseurs des cathédrales gothiques, catal. expos., Les musées de Strasbourg, Strasbourg, 1989

L. BENEVOLO, *Histoire de l'architecture moderne*, Laterza, Bari-Rome, 1960, trad. franç., Dunod, Paris, 1978-1980

E. BENVENUTO, *La Scienza delle costruzioni e il suo sviluppo storico*, Sansoni, Gênes, 1981

B. LEMOINE, *L'Architecture du fer. France : XIX^e siècle*, Champ Vallon, Seyssel, 1986

F. LOYER, *Le Siècle de l'industrie, 1789-1914*, Skira, Paris, 1983

R. MARTIN, *Manuel d'architecture grecque*, Picard, 1965

A. PÉREZ-GOMEZ, *Architecture and Crisis of Modern Science*, M.I.T. Press, Cambridge (Mass.)-Londres, 1983

J.-M. PÉROUSE DE MONTCLOS, *L'Architecture à la française*, Picard, 1982

A. PICON, *Claude Perrault (1613-1688) ou la Curiosité d'un classique*, catal. expos., Ville de Paris et Caisse nationale des monuments historiques, Paris, 1988 ; *Architectes et ingénieurs au siècle des Lumières*, éd. Parenthèses, Marseille, 1988

Jean Prouvé, catal. expos., C.C.I., Paris, 1990

D. SUDJIC, *Norman Foster, Richard Rogers, James Stirling. New Directions in British Architecture*, Thames and Hudson, Londres, 1986

Les articles liés

- AALTO (A.)
- ALBERTI (L. B.)
- APPAREIL (architecture)
- ARCHITECTURE
- ARCHITECTURE (Matériaux et techniques) - Acier
- ARCHITECTURE (Matériaux et techniques) - Bois
- ARCHITECTURE (Matériaux et techniques) - Brique et pierre
- ARCHITECTURE (Matériaux et techniques) - Fer et fonte
- ARCHITECTURE (Matériaux et techniques) - Plastique

- ARCHITECTURE CONTEMPORAINE - Construire aujourd'hui
- ARCHITECTURE CONTEMPORAINE - Une architecture plurielle
- ARCHITECTURE ET MUSIQUE
- ARCHITECTURE ET ÉTAT AU XXe S.
- BAROQUE
- BAUHAUS
- BORROMINI
- BRUNELLESCHI (F.)
- BYZANCE
- CAROLINGIENS
- CATHÉDRALE
- CLASSIQUE (ARCHITECTURE)
- CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES
- CONSTRUCTIVISME
- COULOMB (C. A.)
- DELORME (P.)
- DESARGUES (G.)
- EXPOSITIONS UNIVERSELLES
- FULLER (R. B.)
- GARES (architecture)
- GOTHIQUE (ART)
- GROPIUS (W.)
- GRÈCE ANTIQUE - La cité grecque : urbanisme et architecture
- GRÈCE ANTIQUE - Les arts de la Grèce
- GÉOMÉTRIE
- HABITAT
- HISTORICISME (art)
- INDUSTRIALISATION DE L'ARCHITECTURE
- LE CORBUSIER
- LINTEAU
- LOUVRE (PALAIS DU)
- MATÉRIAUX (SCIENCE DES)
- MIES VAN DER ROHE (L.)
- ORDRES DE L'ARCHITECTURE
- PERRAULT (CLAUDE)
- PERRET (A.)

- PROGRÈS TECHNIQUE
- PROPORTION
- PROUVÉ (J.)
- RATIONALISTE (ARCHITECTURE)
- RENAISSANCE
- ROCOCO
- ROMAN (ART)
- ROME
- SEMPER (G.)
- SOUFFLOT (J. G.)
- STRUCTURE ET ART
- TRAITÉ DE LA PEINTURE (L. B. Alberti)
- VILLARD DE HONNECOURT
- VIOLLET-LE-DUC (E. E.)
- VITRUVÉ
- VOÛTE (architecture)
- ÉGLISE (architecture)
- ÉLASTICITÉ