

Jean-Jacques Terrin

Coupoles

Paris, Editions Hazan, 2006, 191 p.

Introduction

Et comme le corps ainsi étendu peut être enfermé dans un cercle, on trouvera qu'il peut de même être enfermé dans un carré.

Vitruve, *De architectura*, III, 1

« Dieu est dans le détail », se plaisait à dire Mies Van der Rohe, paraphrasant Aby Warburg. Mieux que le monument dans son ensemble, le détail révèle parfois le contexte technique, social et économique – bref, politique – qui l'a vu naître. On a souvent limité les recherches sur les origines d'un édifice aux relations qu'entretenaient l'architecte et le commanditaire. Le mythe du démiurge réalisant pour son prince le palais de ses rêves – mais s'agit-il des rêves du démiurge ou de ceux du prince ? – n'est pas satisfaisant. Qu'on se souvienne des liens ambigus et parfois pervers qui se sont tissés entre des Visconti, des Sforza, des Médicis, des Malatesta ou des Borgia et les hommes pétris d'humanisme auxquels ils ont commandé tant de chefs-d'œuvre, à une époque que Stendhal résumait en ces termes : « De l'esprit, de la superstition, des assassinats, quelques grands hommes, un nombre infini de scélérats subtils... » Il est certes tentant de démontrer que les monuments vont de pair avec la gloire des peuples – ou de leurs dirigeants –, mais il peut être aussi intéressant de découvrir comment celle-ci se niche dans les détails de leur architecture ; de rechercher comment la cohérence des assemblages, des interfaces, des articulations détermine la qualité – grande ou moins grande – d'un édifice et comment elle peut, par ricochet en quelque sorte, représenter celle de toute une époque ; de vérifier que l'évolution technique, formelle, voire symbolique d'un élément architectural s'adapte à la volonté qu'a une société donnée de représenter sa vision du monde, à son imaginaire, à sa mimesis et à ses capacités de mettre en scène l'image qu'elle se fait du cosmos ; de suivre les chemins de la connaissance, les itinéraires par lesquels s'acquiert l'expérience, les routes le long desquelles circulent les savoir-faire, le style et les méthodes des hommes qui en sont les porteurs ; de calculer, enfin, la durée de ces cheminements et les transpositions qui en résultent. Car les mêmes éléments, assemblés différemment, peuvent donner lieu à des architectures qui n'ont rien de semblable. C'est ainsi que les ordres grecs, bien présents dans les réalisations des architectes grecs eux-mêmes, ont été adaptés à d'autres modes de construction par les bâtisseurs romains, réutilisés par les maîtres d'œuvre arabes et médiévaux, puis repris par ceux de la Renaissance et de l'époque classique, pour aboutir à des résultats aussi divers que le Parthénon, la Maison carrée de Nîmes, la mosquée de Kairouan, la chapelle des Pazzi à Florence ou les portiques du British Museum.

À quelques pas du quartier Latin, à Paris, la coupole de la chapelle du Val-de-Grâce domine les alentours. L'ambiance romaine dans laquelle baigne le lieu rappelle la visite que fit sur le chantier le Cavalier Bernin, invité par la reine Anne d'Autriche à dessiner le baldaquin de la chapelle. Chantelou rapporte que l'artiste romain, découvrant la coupole, déclara qu'on avait mis une trop petite calotte sur une bien grosse tête. Si l'on n'est pas vraiment convaincu par l'opinion de Bernin, dont la langue de vipère était notoire, on pourra réfléchir aux conditions de la réalisation du monument et à l'imbrication des éléments qui ont présidé à sa destinée. On pensera à Mansart, bien sûr, le maître d'œuvre de l'ensemble conventuel, aux influences

qu'il a subies, aux difficultés qu'il a rencontrées. On songera à l'orage auquel on doit le bâtiment, celui qui, selon la légende, dévia la route de Louis XIII parti pour la chasse, le ramenant au Louvre où il honora enfin la reine après vingt-deux années de tentatives infructueuses. On pensera aussi au petit Louis XIV, posant à six ans la première pierre de cet édifice destiné à glorifier l'instant miraculeux auquel il devait son existence et y enfouissant une médaille en or. Le règne de ce roi bâtisseur s'achèvera soixante-deux ans plus tard avec la construction d'une autre coupole, celle de la chapelle des Invalides. Ainsi peut-on mesurer l'importance de cette forme architecturale en tant que symbole de la destinée solaire du monarque.

La construction des coupoles a été une obsession pour des générations d'architectes, très probablement le défi le plus difficile qu'ils aient eu à relever. Que l'on songe au Panthéon romain, qui valut tant de vicissitudes – l'exil et la mort, dit-on – aux architectes d'Hadrien, aux difficultés rencontrées par les bâtisseurs de la coupole de Sainte-Sophie, qui s'effondra cinq ans seulement après le triomphe de Justinien devant son chef-d'œuvre enfin achevé, aux déboires de Brunelleschi avec les patriciens de la cathédrale de Florence ou aux disputes théoriques incessantes qui opposèrent Bernin et Borromini. La course à la performance qu'ont suscitée ces constructions n'a jamais cessé, et il faudra attendre la fin du XIX^e siècle pour voir surpasser l'antique Panthéon de Rome : le Royal Albert Hall, construit à Londres en 1871, fut le premier ouvrage à avoir une portée plus grande, suivi, en 1958, par le CNIT de La Défense à Paris, lui-même battu en 1975 par le Superdome de La Nouvelle Orléans.

La principale difficulté vient du fait que le cercle et le carré sont deux formes difficilement compatibles lorsqu'on les superpose au sein d'un même ouvrage. La géométrie de la coupole, qui parvient à les associer, résulte de savoir-faire techniques très élaborés. En accouplant aussi intimement le cercle et le carré, la coupole pose un problème architectural extrêmement complexe qui peut se résumer à cette question : comment construire une superstructure de plan circulaire sur une base carrée tout en assurant une continuité entre les deux parties ? La dimension technique et géométrique du problème fait de cette articulation un détail qui intéresse toute l'histoire de l'architecture.

La coupole est en outre emblématique de la manière dont une civilisation définit sa relation avec le cosmos et dont les puissants rattachent leurs pouvoirs terrestres à un droit divin. Sa dimension symbolique s'inscrit dans la réponse que chaque époque, chaque civilisation, chaque architecte apporte à cette difficile question. C'est là, sans doute, que Dieu se cache dans le détail ! La coupole, on le voit, est un élément architectural suffisamment particulier pour que l'on s'intéresse de près à son évolution. Au fil de cette histoire, on se penchera notamment sur la façon dont Orient et Occident se sont mutuellement influencés et dont ces échanges ont marqué l'histoire et la géographie de l'architecture pendant plus de deux mille ans.

Cet ouvrage ne se veut pas exhaustif. L'ampleur de la tâche, l'importance du matériel archéologique disponible, l'étendue géographique à considérer, mais aussi les théories contradictoires qui s'affrontent sur un sujet qui suscite encore de nombreuses recherches ne permettent pas ne serait-ce que d'esquisser un panorama de la construction des coupoles à toutes les époques et sur tous les continents. Il s'agira plutôt d'une promenade architecturale au cours de laquelle on tentera, au travers de monuments particulièrement significatifs, de comprendre comment et, surtout, pourquoi tant de civilisations ont bâti des coupoles. De l'Orient à l'Occident, des pays méditerranéens aux régions les plus septentrionales, on suivra les transformations progressives et les hybridations les plus surprenantes dont les coupoles ont été l'objet. Cet élément d'architecture pourra fasciner par son éloquence formelle, et cela quelle que soit l'échelle à laquelle on l'observe, depuis le détail de sa construction jusqu'à la place qu'il occupe dans le paysage urbain. Enfin, cette étude questionnera les fondements de l'art de bâtir contemporain et s'interrogera sur les moyens dont se dotent les architectes d'aujourd'hui pour aborder les difficiles relations entre technique et perception symbolique de l'espace.

1. Géométrie

C'est pourquoi le dieu, quand il se mit à composer le corps de l'univers, le forma d'abord de feu et de terre. Mais si l'on n'a que deux choses, il est impossible de les unir de façon convenable sans une troisième ; car il faut qu'il y ait entre les deux un lien qui les unisse.

Platon, *Timée*

Origines

L'invention de la voûte à plan circulaire comme mode de couverture d'un édifice à plan centré plonge ses racines aux origines de l'architecture. Très tôt, du fait de leur simplicité, le cercle et le carré ont été des éléments clés de la composition architecturale. L'humanité commença probablement par dessiner un cercle, dont l'image était partout présente dans la nature, sans doute à l'occasion de la construction des premières habitations ramassées autour du foyer. L'architecte William Chambers (1723-1796) imagine ainsi la façon dont fut confectionné le premier abri : « Dépourvu d'outils et d'expérience, le pionnier réunit quelques rameaux, les disposa en forme de cône et, les recouvrant de roseaux ou d'un mélange de feuilles et d'argile, éleva une cabane capable d'abriter un hôte vigoureux pendant la nuit et la mauvaise saison¹. » Les habitations nomades des chasseurs préhistoriques constituèrent ainsi, au sens propre comme au sens figuré, le premier cercle des groupements humains. Alors qu'elle venait à peine d'éclorre, la conscience humaine percevait son abri comme une figure rassurante de la matrice – une figure peut-être renforcée par le rôle prédominant joué alors par la femme, gardienne du foyer, et qui allait s'imposer comme la représentation symbolique de la terre nourricière. Pour les premières communautés humaines, ce premier abri ne pouvait être que le présent d'un dieu. « La mémoire de la hutte du dieu dans son bosquet sacré est trop ancienne et trop répandue dans l'Antiquité pour pouvoir être attribuée à une source plutôt qu'à une autre », explique l'historien Baldwin Smith². Dans les croyances de l'Égypte, du Moyen-Orient, de l'Inde et de la Chine, dans la mythologie grecque puis romaine, on trouve effectivement trace de ces habitations circulaires recouvertes d'un dôme qui auraient été offertes à l'humanité par un dieu.

En réalité, il est peu vraisemblable que quiconque ait pu construire une voûte hémisphérique en maçonnerie sans avoir eu sous les yeux une image préalable dont s'inspirer. Des historiens ont émis l'hypothèse que ce sont des structures familières plus ou moins coniques ou hémisphériques – tentes, cabanes ou grottes – qui ont inspiré les premiers lieux de culte, comme si, consciemment ou non, les premières communautés humaines avaient vénéré le cercle en tant que vestige d'une forme originelle de maison³. De multiples exemples en témoignent sous toutes les latitudes, et il y a bien longtemps que les cromlechs celtes, les tholos grecs, les tumulus d'Asie Mineure et les tombeaux étrusques sont considérés comme des constructions sacrées représentant le cosmos au travers de la mise en scène rituelle de formes familières et profanes. Des pierres levées de Stonehenge aux temples de Paestum en passant par les colonnes papyrifères égyptiennes, les constructions en pierre résultent généralement d'une tentative pour fixer dans la durée des formes banales et éphémères. Chez les Grecs, le mot *camara*, dérivé du verbe qui signifie « courber, cintrer », désignait aussi bien la voûte que la bâche arrondie recouvrant un chariot. Dans le même ordre d'idées, on peut penser au mot « koubba », qui, avant de signifier « coupole » ou « tombeau » en arabe, désignait les palanquins portés par les chameaux⁴. Les racines

¹ Sir William Chambers, *A Treatise on the Decorative Part of Civil Architecture* [1759], Londres, 1825, p. 103.

² Earl Baldwin Smith, *The Dome: a Study in the History of Ideas*, Princeton, 1971, p. 65.

³ Voir Marc Antoine Laugier, *Essai sur l'architecture*, Paris, 1753.

⁴ Voir Louis Hauteœur, *Mystique et architecture. Symbolisme du cercle et de la coupole*, Paris, 1954, p. 49-50.

communes au latin *domus* et au grec *dôma*, au français *dôme*, à l'italien *duomo* et à l'allemand *Dom*, confirment cette tradition primitive probablement universelle consistant à représenter l'abri sacré sous la forme transcendée d'un habitat originel auquel est associée la figure du cercle⁵.

On peut dire, pour conclure sans grand risque d'erreur, que la coupole a des origines géographiques multiples, qu'elle a d'abord été la transposition idéalisée d'un habitat ancestral et que sa forme a bientôt pris une signification sacrée. Aussi est-il difficile d'affirmer à quel endroit elle apparut. Faut-il d'ailleurs qu'elle soit née quelque part ? Certes, la plupart des archéologues qui se sont penchés sur la question ont mis en évidence une tradition importante et ancienne à travers tout le Moyen-Orient. L'archéologue britannique K. A. C. Creswell assure que les Assyriens et les Chaldéens construisaient déjà des maisons surmontées de coupoles⁶. Un bas-relief datant de 705 à 681 avant J.-C. et provenant de Ninive, aujourd'hui au British Museum, montre de modestes maisons paysannes coiffées de coupoles hémisphériques ou coniques. Dans l'Égypte ancienne, les greniers et les entrepôts étaient souvent couverts de coupoles de brique. Et certaines œuvres de l'architecte égyptien Hassan Fathy (1900-1989) rappellent étrangement des maquettes trouvées dans des excavations datant de la X^e dynastie. Les historiens actuels, comme ceux d'hier – Strabon, par exemple –, multiplient les allusions à ces ouvrages, qui, parce qu'ils ne nécessitaient pas de cintres, pouvaient être construits dans des régions pauvres en bois.

Après le cercle, l'humanité traça l'angle droit, fruit de ses spéculations intellectuelles naissantes. Bien qu'en l'état actuel de la recherche on ne dispose d'aucune certitude concernant les conditions d'apparition des premières habitations à plan rectangulaire, on peut supposer qu'il s'agissait généralement de remplacer des édifices à plan circulaire, alors que le contraire ne semble pas avéré⁷. Dans le cadre de cette évolution, on peut interpréter le cercle comme une image naturelle symbolisant la perfection sociale originelle à laquelle font allusion les théories platoniciennes, tandis que le carré représenterait un pluralisme fonctionnel et une organisation plus hiérarchisée de la société. Il est vraisemblable que ce passage du cercle au carré ne s'est pas accompli sans tension. La ville de Milet, que l'architecte Hippodamos traça sur une trame orthogonale, était aussi centrée sur l'agora, autour des grands équipements civils et religieux de la cité. Elle était divisée en quartiers d'importance et de densité différentes, où la population se répartissait par catégories bien distinctes selon un schéma plus ou moins concentrique. À une tout autre échelle, une fragile maquette de terre du III^e millénaire avant notre ère, exposée au musée de Damas, et représentant une maison à plan circulaire centré sur un patio carré, témoigne, dans son humilité, de cette double empreinte du cercle et du carré.

On retrouve cette double empreinte dans le plan de nombreuses villes ou dans le mythe de leur fondation. Rome, qui se donna le titre d'*urbs quadrata*, la « ville carrée », trouve son origine légendaire dans cette dualité. Romulus, après avoir tué et enterré son frère, fonda la ville en observant le rituel des mystères étrusques⁸. Il fit d'abord creuser une fosse centrale, appelée *mundus*, dans laquelle chacun jeta un peu de terre provenant de son pays natal. Puis il prit une charrue à laquelle il attela une vache blanche et un taureau noir et traça un sillon circulaire qui délimitait le pourtour de la cité, soulevant le soc d'airain de la charrue à l'emplacement des futures portes. Plus tard, cet acte fondateur devait être réitéré à l'occasion de la fondation de nouvelles implantations. S'étant assuré que les auspices étaient favorables, un augure prenait son bâton et, à partir du *mundus*, traçait un *templum*

⁵ Voir E. B. Smith, *The Dome...*, *op. cit.*

⁶ Voir K. A. C. Creswell, *Early Muslim Architecture*, Oxford, 1932-1940, 2 vol.

⁷ Voir Paul Oliver, *Dwellings : the vernacular house world wide*, Londres, 2003.

⁸ Plutarque, *Vie de Romulus*, XI.

dans le ciel, c'est-à-dire un carré dont les quatre côtés correspondaient aux quatre points cardinaux et orientaient l'espace de la ville selon deux axes se coupant à angle droit.

La plupart des villes traditionnelles présentent un plan concentrique. Celui de Bagdad, tracé en 762 par al-Mansour, correspond à un cercle de 2 300 mètres de diamètre. Chaque voie d'accès était rayonnante et menait au palais impérial, qui, surmonté d'un dôme, était situé au centre, adossé à la mosquée⁹. On peut voir dans ce plan circulaire le reflet d'une société conçue à l'image du monde et des cosmogonies anciennes, représentation géométrique de la perfection, de la stabilité, d'une distribution égalitaire et d'une morale affichée des rapports humains. L'égalité de ses rayons illustre une vision sociale fondée sur l'équilibre et la pluralité. La plupart des utopies urbaines, celles, par exemple, de Platon, de Thomas More, de Francis Bacon ou de Claude Nicolas Ledoux, s'organisent autour d'un cercle. Les villes mythiques de l'Antiquité, les cités idéales de la Renaissance présentent toutes une trame circulaire. Les villes fortifiées de tous les continents, et les grandes métropoles elles-mêmes, conservent les traces d'enceintes concentriques successives. Jules Verne lui-même, quand il imaginait ce que Paris, autrefois enfermé dans ses murs, deviendrait au XX^e siècle, parle de « quatre cercles concentriques » constitués par le réseau ferroviaire métropolitain¹⁰.

Le Trésor d'Atrée, Mycènes

Le Trésor d'Atrée est la plus grande des neuf tombes à tholos situées sur le site de Mycènes, dans le Péloponnèse. Il s'agirait de la tombe d'Agamemnon ou de son prédécesseur. On accède au tholos par un couloir voûté de 35 mètres de longueur sur 6 mètres de largeur appelé *dromos*. Celui-ci conduit à la porte monumentale de la tombe, surmontée d'un linteau en pierre. La salle funéraire est circulaire, de 14,50 m de diamètre et 13,50 m de hauteur. De même que le dromos, elle a été taillée dans la colline avant d'être construite en pierre. Elle est coiffée d'une coupole, également de pierre, dont l'étanchéité est assurée par une première couverture d'argile, elle-même recouverte de terre pour former un tumulus. La voûte est constituée de trente-trois assises de pierre appareillées en encorbellement. Cette technique a considérablement simplifié le processus de construction en rendant inutile le recours à un support provisoire en bois pendant le chantier. La partie haute de la coupole est presque conique, ce qui a facilité la mise en place de l'encorbellement. Les clous de bronze retrouvés dans l'édifice indiquent que la voûte et les murs étaient recouverts d'un décor aujourd'hui disparu et qui, selon la tradition, aurait été composé de plaques d'or, d'argent et de bronze.

On a vu dans ces tholos une influence de l'architecture égyptienne, qui utilisa le même procédé pour bâtir des voûtes en brique, notamment à Abydos. Ces tombes correspondraient à une image idéalisée de l'habitat populaire crétois. Des techniques comparables ont été reprises autour du bassin méditerranéen, notamment en Palestine, en Syrie, en Crète, en Espagne, en Afrique du Nord. On en trouve de similaires dans tout le monde antique jusqu'en Angleterre et dans le nord de la Germanie. Les Étrusques en adoptèrent le principe en le perfectionnant, et les Romains en poursuivirent la tradition.

Une forme hautement symbolique

La coupole est un ouvrage universel, et la plupart des civilisations en ont bâti. Certaines pour recouvrir leurs habitations les plus modestes, d'autres pour couronner le palais de leurs empereurs. Beaucoup l'ont réservée à leurs édifices sacrés, qu'il s'agisse d'abriter des rituels funéraires ou, moins fréquemment, des cérémonies liées à la naissance. Sa forme renferme une dimension mythique qui s'explique par la spéculation à laquelle se livrent

⁹ Voir Oleg Grabar, *La Formation de l'art islamique*, trad. de l'anglais par Yves Thoraval, Paris, 2000.

¹⁰ Jules Verne, *Paris au XX^e siècle*, Paris, 1994.

traditionnellement les peuples à propos de leurs origines et par le lien qu'ils établissent inconsciemment entre la voûte de la coupole et la grotte primitive. Ainsi, les formes relativement élaborées des tholos à coupole sont issues de l'évolution progressive des tombes troglodytes mycéniennes. L'analogie évidente de la coupole avec la voûte céleste lui confère également une signification cosmique. On peut en outre lui attribuer une portée philosophique dans la mesure où elle évoque la perfection d'un cycle achevé. Elle prend enfin une résonance politique ou religieuse – souvent les deux à la fois – quand elle magnifie l'expression du pouvoir par sa centralité.

La plupart des coupoles s'élèvent sur des édifices cubiques. Existe-t-il géométrie plus symbolique qu'un cube surmonté d'une demi-sphère ? Tout le monde y trouve son compte : le visiteur, que l'image impressionne, le religieux, qui y voit l'union du ciel et de la terre, le monarque, qui montre ainsi que son pouvoir temporel est lié au spirituel, le philosophe, enfin, qui l'interprète comme une référence à l'androgynie platonicien. La coupole est destinée à marquer le nombril du monde, cette éternelle et dérisoire manifestation d'ambition que toutes les civilisations dressent au centre de leur territoire, à l'image de l'*omphalos* de Delphes, la pierre sculptée en forme de dôme qui fut dressée à l'endroit même où Apollon aurait tué le serpent Python en combat singulier. Depuis, on ne compte plus le nombre des princes qui ont érigé au centre de leur capitale ce symbole de puissance et de légitimité dynastique. De Jérusalem à Damas, de Rome à Berlin, de Bagdad à Washington, partout ils ont posé les jalons de leur puissance éphémère en leur donnant l'image du mythique *omphalos*.

C'est que l'alliance du cercle et du carré fait appel au symbolisme le plus emblématique. Est-il nécessaire d'insister sur les oppositions et les complémentarités qui existent entre le carré, symbole de la terre, de la stabilité, de la puissance, de l'espace, et le cercle, symbole du ciel, de l'unité, de la dynamique et du temps ? Le chiffre quatre, image du carré, évoque les points cardinaux, les quatre saisons, les quatre éléments. Dans la Genèse, quatre fleuves arrosent l'univers et en fixent les limites. L'Apocalypse parle des quatre vents qui soufflent des quatre extrémités du monde. Le mandala hindou est constitué d'un carré représentant le « lieu de Brahma », percé de quatre portes permettant de progresser jusqu'à son centre. Lorsque Platon décrit, dans *Timée*, les cinq solides réguliers qui composent l'univers, il rattache le cube à la terre. Le nombre six est associé au cercle par les deux triangles équilatéraux qui s'y inscrivent. Il y a douze heures, douze mois, douze signes du zodiaque. L'arbre de vie porte douze fruits, et la Jérusalem céleste de l'Apocalypse possède douze portes.

On pourrait multiplier ces références. Bien entendu, le cube, carré du carré, étend à la troisième dimension les attributs du carré, tandis que la sphère amplifie ceux du cercle. Figures géométriques constamment utilisées, les associations entre un carré et un cercle, ou entre un cube et une sphère, se retrouvent à toutes les époques et sous toutes les latitudes pour signifier le passage de l'humain au divin.

Le mausolée de Dioclétien, Split

Dioclétien était le fondateur de la tétrarchie, l'un des quatre empereurs qui, à la fin du III^e siècle, se partagèrent le pouvoir de l'Empire romain entre empires d'Orient et d'Occident. Dalmate d'origine, il décida d'abdiquer en 305 après J.-C. et se retira non loin de sa ville natale de Salone, aujourd'hui Spalato, ou Split, dans un palais qu'il avait fait bâtir pour ses vieux jours. L'implantation de cette résidence, qui était en réalité une petite ville de garnison tracée à l'image du traditionnel castrum des légions romaines, répondait à un ensemble d'exigences techniques et symboliques. Au fond d'une baie bien abritée, proche de sources abondantes et de carrières de pierre de qualité, le palais de Spalato était aussi situé au centre du monde romain, entre Orient et Occident. Cette situation se voulait significative du caractère universel et divin du pouvoir impérial. Selon la tradition romaine, l'empereur recevait ses visiteurs dans une salle d'audience. Celle-ci était couverte d'une coupole

« cosmique » comme celles que Néron avait fait réaliser dans sa Domus Aurea de Rome et Hadrien dans sa villa de Tivoli.

On pénètre dans l'enceinte du palais impérial par un vestibule à coupole que précédait un long péristyle situé dans le prolongement du cardo, l'axe principal nord-sud de la ville. Sur un axe perpendiculaire au cardo, Dioclétien avait fait construire son mausolée. Celui-ci était implanté dans la partie est du palais, ouvert au soleil couchant. Il faisait face à trois temples situés à l'ouest du péristyle. Selon l'historien de l'architecture Christian Norberg-Schulz, cet axe est-ouest symboliserait les limites de l'existence humaine, entre naissance et mort.

De plan octogonal, le mausolée est enfermé dans une cour rectangulaire et entouré d'un péristyle extérieur couvert d'un appentis. Conformément à la tradition des temples romains à plan centré inspirés du Panthéon, il est précédé d'un portique à colonnes. De plan intérieur circulaire, il est percé de niches alternativement carrées et semi-circulaires. Il présente deux rangées superposées de huit colonnes, supportant une corniche richement décorée d'où s'élance une coupole à nervures.

Bien que les tombes à plan centré aient été depuis longtemps une constante de l'architecture funéraire antique, c'est le mausolée de Dioclétien qui a donné à ce type de monument la dimension d'un mémorial, l'identifiant à une nouvelle forme d'*omphalos*. Son successeur Constantin reprit ce modèle, implantant son propre mausolée au centre de la toute nouvelle ville de Constantinople, face à l'église des Saints-Apôtres. Ce type de mausolée se propagea ensuite à Rome, avec Sainte-Constance, par exemple, puis à Ravenne et, après l'époque romaine, dans l'ensemble de la chrétienté et du monde musulman.

Une coupe renversée

Le mot « coupole » vient par l'italien du latin *cupula*, « petite cuve », lui-même diminutif de *cupa*, « coupe ». Du point de vue de l'étymologie, la coupole est donc assimilée à un récipient ; or, ainsi que le sait tout bon buveur, le contenu d'une coupe est généralement plus important que son contenant. Il ne faut toutefois pas se méprendre sur l'apparente légèreté de cette entrée en matière, car on touche là au cœur même du sujet. Le vocabulaire de l'architecture définit la coupole comme « une voûte de plan circulaire, ovale ou polygonal ». Il s'agit donc d'un ouvrage de maçonnerie, construit en brique, en pierre ou en béton. Son intrados – sa surface intérieure – « est théoriquement une concavité de révolution [...] tracé[e] par la rotation d'un arc générateur sur un axe vertical¹¹ ». La courbe de cet arc peut être circulaire, elliptique, parabolique, et la base sur laquelle s'élève la voûte peut être elle-même circulaire, elliptique ou polygonale. Mais le plus important, c'est que la coupole, comme toute voûte, d'ailleurs, se définit par rapport à son intrados, donc par rapport à l'espace qu'elle contient dans l'édifice. On retrouve là l'origine étymologique du mot : la coupole est bien une coupe renversée qui contient un espace centré.

La définition donnée plus haut établit la différence qui existe entre la coupole et le dôme. Le dôme n'est qu'un toit charpenté « de plan centré¹² » qui peut recouvrir tout type d'espace, y compris un espace avec lequel il n'a aucune relation. Cette différence est essentielle. Le dôme, le « sot dôme », ainsi que M^{me} Geoffrin appelait au XVIII^e siècle celui de l'église Saint-Roch situé en face de son salon de la rue Saint-Honoré, est fait pour être vu de l'extérieur. Il n'a pas de réalité spatiale intérieure. La coupole, au contraire, a pour vocation de générer un espace bâti. Dômes et coupoles peuvent être et sont parfois superposés au sein d'un même ouvrage, mais chacun remplit un rôle différent. Le dôme est une composante du paysage urbain, la coupole, une voûte intérieure centrée.

¹¹ Jean-Marie Pérouse de Montclos, *Architecture*. [1], *Vocabulaire*. Ministère des Affaires culturelles, *Inventaire général des monuments et des richesses artistiques de la France*, Paris, 1972, p. 102.

¹² *Ibid.*, p. 113.

« Le privilège unique de l'architecture entre tous les arts, c'est [...] de construire un monde intérieur¹³ », écrit Henri Focillon, confirmant indirectement l'importance de la relation qui existe entre la coupole et l'espace intérieur qu'elle engendre. Au-delà de sa géométrie, l'espace se perçoit au travers de la dynamique qui l'anime. « C'est dans l'espace vrai que s'exerce cet art, celui où se meut notre marche¹⁴ », poursuit Focillon. Toute architecture dessine un parcours le long duquel se succèdent des éléments qui forment un tout en s'articulant les uns aux autres. Dans le cas de la basilique chrétienne, ce parcours commence sur le parvis, fait une halte sous le narthex, se poursuit le long de la nef, franchit le transept et se termine devant l'abside. Le contrepoint que l'espace statique et centré forme avec cette succession d'événements est fortement dramatisé dès lors que cet espace est dominé par une coupole. De ce fait, les coupoles tiennent toujours une place exceptionnelle dans l'architecture. Mausolées impériaux, martyriums et baptistères chrétiens, mosquées et marabouts islamiques, panthéons et capitales républicains : tous ces édifices, qu'ils incitent au recueillement ou soient une marque de pouvoir, sont l'aboutissement d'une perspective architecturale et le siège d'une fonction que l'on cherche à magnifier.

La basilique San Vitale, Ravenne

Bien que sa construction chevauche deux époques bien distinctes, la basilique San Vitale est l'édifice le plus typiquement byzantin de la ville de Ravenne. Commencée vers 526-527 par la fille du roi ostrogoth Théodoric, elle fut achevée en 548 par l'empereur Justinien après que celui-ci eut entrepris la reconquête de l'Italie et ordonné à son général Bélisaire de s'emparer de la ville en 540. Elle s'apparente à l'église Saints-Serge-et-Bacchus, bâtie à Constantinople vers la même époque, en 527-536, ainsi qu'au Chrysotriklinos – la salle dorée – du palais impérial, qui est un peu plus tardif (565-578).

Le plan de San Vitale est celui d'un mausolée romain, comparable à celui de Sainte-Constance. Tout comme les monuments byzantins, l'édifice est fait de briques minces jointoyées avec un mortier. La voûte est réalisée selon un procédé mis au point par les Romains en Afrique du Nord : des tubes de poterie emboîtés les uns dans les autres forment une spirale continue qui s'élève de la naissance de la coupole à son sommet. Ce mode de construction, le même que celui utilisé pour la coupole du baptistère des Orthodoxes de la cathédrale de Ravenne, a l'avantage d'alléger le poids de la structure, ce qui réduit l'importance des poussées latérales et verticales de la voûte sur les murs. La coupole est elle-même protégée par une toiture charpentée. Elle est soutenue par quatre pendentifs et portée par un tambour octogone qui l'éclaire de huit larges fenêtres. Ainsi surélevée, elle est dégagée de la partie basse du sanctuaire, ce qui produit un effet de verticalité que l'on ne trouve pas chez ses contemporaines byzantines. Ce même dispositif sera repris à l'occasion de l'édification de la coupole de Sainte-Sophie à Constantinople.

L'iconographie de la voûte, typiquement byzantine, respecte la hiérarchie traditionnelle : au sommet de la voûte se trouve l'Agneau mystique sur fond d'étoiles entouré d'anges, plus bas, des prophètes, les évangélistes, les villes célestes de Jérusalem et de Bethléem, des animaux aériens et aquatiques, et enfin, dans l'abside, le couple impérial entouré de sa cour.

Qalaat Siman (Saint-Siméon-Stylite), Syrie

Né en Cilicie vers 390, le futur saint Siméon était un moine ascétique qui vivait retiré dans un massif rocheux à une quarantaine de kilomètres au nord-est d'Alep. Il y inventa une forme d'ascèse originale qui fit de nombreux adeptes, les stylites. Il vivait juché au sommet d'une colonne d'une vingtaine de mètres de hauteur, d'où il convertissait les pèlerins et

¹³ Henri Focillon, *La Vie des formes*, Paris, 1990, p. 34.

¹⁴ *Ibid.*, p. 30.

accomplissait des miracles. Après sa mort, en 459, un très important centre de pèlerinage fut construit sur l'éperon rocheux où il avait séjourné. Les architectes étaient byzantins, sans doute venus d'Antioche. Dans un vaste enclos qui avait nécessité le nivellement d'une partie de la montagne, ils érigèrent une basilique, un baptistère, un couvent ainsi que des édifices utilitaires, une vaste hôtellerie notamment.

Le baptistère est un bâtiment centré de plan octogonal. Il était surmonté d'un tambour et d'une toiture pyramidale, aujourd'hui disparue. La basilique, située à l'autre extrémité de l'enclos, est cruciforme : ses quatre nefs sont longues de 95 mètres au nord et au sud et de 85 mètres à l'est et à l'ouest. Elle a été conçue selon le modèle général du martyrium, mais à une échelle beaucoup plus grande. Au centre de la basilique, une construction octogonale en pierre, de 27 mètres de diamètre, fait pendant au baptistère. Elle abritait la colonne sur laquelle avait vécu le saint et qui était vénérée à titre de relique. On suppose qu'elle était surmontée d'une coupole en bois, selon la tradition des premières églises à coupole de Syrie, celle des Saints-Apôtres à Constantinople ou la cathédrale de Bosra, par exemple.

La quadrature du cercle

La construction des coupoles est affaire de géométrie. D'une façon générale, les figures issues du cercle et du carré sont très présentes dans l'histoire de l'architecture. Les bâtisseurs de tous les temps en ont fait la base de leurs créations. Jusqu'aux XVI^e-XVII^e siècles, soit une époque relativement récente, les architectes édifiaient des ouvrages d'une complexité souvent importante en se passant de plans, et surtout de plans d'exécution au sens où on les entend aujourd'hui. Ils utilisaient d'autres modes de représentation, tels que des maquettes ou des gabarits. Ils se référaient à des savoir-faire partagés par tous les exécutants d'un même chantier, constitués en grande partie d'une main-d'œuvre illettrée. À ces difficultés de communication s'ajoutait l'absence de système de mesure universel, ce qui représentait une sérieuse complication pour des maîtres d'œuvre tenus de parcourir des distances souvent considérables entre leurs chantiers, lesquels se prolongeaient parfois sur plusieurs décennies. Dans de telles conditions, les architectes devaient transmettre leurs projets à l'aide de conventions simples, fondées dans la mesure du possible sur des nombres entiers et sur des formes géométriques faciles à reproduire au moyen des instruments de mesure localement disponibles, essentiellement des cordeaux, des équerres et des niveaux. Les schémas géométriques qu'ils établissaient ont sans nul doute été un moyen de communication appréciable entre compagnons bâtisseurs, tout en garantissant le respect des proportions des édifices.

Du fait de leur simplicité, le cercle et le carré représentaient des éléments privilégiés, au même titre que le triangle, le pentagone, l'hexagone, l'octogone et le décagone. Tout naturellement, ces figures furent associées entre elles quand il fallut composer des tracés de plans ou de façades faciles à transposer sur le site d'un chantier. Lorsque le calcul présida à la conception des ouvrages, les nombres entiers constituèrent la base arithmétique à la fois technique et symbolique de ces associations. Mais l'insertion d'un cercle ou d'une sphère dans un système de références à base de nombres entiers s'avéra problématique. Il est en effet difficile de trouver des correspondances entre le rayon du cercle et les nombres entiers dans la mesure où π , étant un nombre irrationnel transcendant, ne peut être défini comme le rapport de deux entiers. Ce vieux dilemme, qui alimenta l'interminable recherche sur la quadrature du cercle, ne prit fin qu'en 1882, lorsque le mathématicien allemand Lindemann démontra qu'il n'existait aucune solution.

Les architectes durent contourner le problème en inscrivant le cercle dans un carré englobant auquel ils donnèrent le rôle principal. Le cercle conservait une place essentielle, certes, mais subordonnée à l'orthogonalité dominante. Tout au long de l'histoire de l'architecture, les carrés et les doubles carrés, tout comme les rectangles harmoniques construits à partir de leurs diagonales, ont fixé les proportions des plans et des façades d'innombrables édifices. Il en va de même pour les autres figures polygonales régulières,

surtout l'octogone et le dodécagone, dont quatre côtés coïncident avec ceux du carré. Pourtant, même si elle est moins présente, la place du cercle reste importante : il est associé à l'hexagone, au pentagone et au décagone, faciles à construire à partir du rayon et de la circonférence du cercle dans lequel ils s'inscrivent.

L'architecte français Michel Écochard a proposé une démonstration convaincante de l'application de ces tracés à des édifices à plan centré. Appelé à la conservation du patrimoine architectural du Proche-Orient à l'époque du protectorat français en Syrie, chargé à ce titre de la restauration de nombreux monuments, il a étudié la filiation géométrique pouvant exister entre les ouvrages qu'il avait sous les yeux et les monuments grecs, romains, byzantins, romans et musulmans dont il avait effectué des relevés dans tout le Moyen-Orient et en Europe. D'après ce qu'il a conclu de ses observations, la plupart de ces édifices ont résulté pendant plusieurs siècles de l'application d'une seule et même figure géométrique obtenue par la rotation de carrés dans un cercle – ou « carrés tournants ». Cette démonstration prend comme point de départ les schémas qu'Auguste Choisy avait déjà observés chez Vitruve, lequel utilisait le même type de carré tournant pour expliquer de quelle façon étaient conçus les théâtres grecs et romains. Afin de dessiner le plan d'un amphithéâtre antique, Vitruve trace un cercle ayant pour rayon celui de l'orchestre, puis il le partage en douze parties égales. Lorsqu'il relie les points obtenus de trois en trois, il obtient trois carrés qui indiquent la limite antérieure de la scène et l'axe des portes du théâtre grec. Lorsqu'il les relie de quatre en quatre, il obtient quatre triangles équilatéraux qui correspondent au tracé du théâtre romain. L'avant-scène est délimitée par le diamètre du cercle et la scène gagne en profondeur, laissant plus de place aux chœurs. En superposant les deux schémas, on constate qu'une même géométrie engendre deux organisations de l'espace totalement différentes.

En appliquant ce principe simple à des bâtiments à plan centré aussi éloignés dans l'espace et le temps que le mausolée de Dioclétien à Split (305 après J.-C.), Saint-Siméon-Stylite en Syrie (450), San Vitale à Ravenne (vers 530), le Dôme du Rocher à Jérusalem (688), certaines églises d'Arménie des IX^e et X^e siècles ou la chapelle Palatine à Aix-la-Chapelle (805), Michel Écochard a observé que leurs plans se superposaient et reproduisaient les mêmes cercles concentriques et les mêmes carrés tournants, avec des dimensions ou des proportions identiques ou approchantes. On savait que les échanges commerciaux et les déplacements des maîtres d'œuvre le long des routes qui reliaient l'Orient et l'Occident avaient favorisé la diffusion des techniques et des savoir-faire. Il est intéressant d'avoir confirmation de la part d'un spécialiste tel qu'Écochard du fait que la géométrie des tracés a pu à ce point servir de support à la transmission des connaissances. On conçoit que cette tradition orale relativement simple à communiquer dut faciliter l'implantation et le dimensionnement de bien des édifices à plan centré, au-delà de la barrière des langues et de la diversité des topographies.

Les coupoles pneumatiques de Frei Otto

Très jeune, l'architecte allemand Frei Otto s'intéressa au vol à voile. Durant ses deux années de captivité, à la suite du second conflit mondial auquel il avait participé en tant que jeune pilote dans la Luftwaffe, il entreprit d'appliquer à l'architecture ses connaissances issues de l'aéronautique, notamment en aéraulique et en thermique. La théorie qu'il déduisit plus tard de ces réflexions fit de lui le pionnier des structures légères tendues. Il appliqua ses recherches à un nombre incalculable d'édifices et d'infrastructures urbaines, inventant sans cesse, dans le laboratoire qu'il fonda à Stuttgart en 1964, des formes architecturales fondées sur les figures géométriques les plus variées : surfaces gauches, structures tendues, structures gonflables, en forme de vagues, de tentes, de coupoles ou de coques rigides. Ses structures sont réalisées au moyen de câbles ou de filets d'acier, et ses membranes sont faites de matières textiles synthétiques ou de réseaux d'acier ou d'aluminium. Frei Otto a

participé en 1967 à la conception du pavillon allemand de l'Exposition universelle de Montréal et en 1972 à celle de la toiture du stade olympique de Munich.

Frei Otto fondait ses travaux sur une étude attentive du monde naturel, animal et végétal. Pour approfondir ces observations, il créa un groupe de recherche intitulé Biologie und Bauen (Biologie et Construction) avec lequel il se pencha sur les formes les plus variées : galaxies, vagues, gouttes d'eau, insectes, coquillages, radiolaires. C'est sur cette base géométrique qu'il imagina des structures légères très performantes, à faible coût de matière et d'énergie. Ses longues études sur le comportement des bulles de savon lui inspirèrent par ailleurs de nouvelles techniques grâce auxquelles il put réaliser des coupoles pneumatiques.

2. Technique

Marco Polo décrit un pont, pierre par pierre.

– *Mais laquelle est la pierre qui soutient le pont ? demande Kublai Khan.*

– *Le pont n'est pas soutenu par telle ou telle pierre, répond Marco, mais par la ligne de l'arc qu'à elles toutes elles forment.*

Kublai Khan reste silencieux, il réfléchit. Puis il ajoute :

– *Pourquoi me parles-tu des pierres ? C'est l'arc seul qui m'intéresse.*

Polo répond :

– *Sans pierres il n'y a pas d'arc.*

Italo Calvino, *Les Villes invisibles*

La coupole : une voûte de plan circulaire

La coupole s'inscrit dans la longue histoire de la construction des voûtes. Indissociable de celle des moyens dont ont disposé les bâtisseurs pour recouvrir leurs édifices, cette histoire est celle d'une conquête lente et empirique. Le procédé le plus sommaire, voire le plus primitif, permettant de franchir une portée est le *linteau*. Le linteau est une pièce horizontale, de bois, de pierre ou de métal, qui reçoit une charge verticale et la reporte entre deux points d'appui. Évidemment, la distance entre ces deux points est fonction des qualités physiques du matériau utilisé, de sa section et de son poids. Afin d'augmenter la portée, on a démultiplié le principe du linteau en superposant une série d'assises de pierres taillées ou de briques, chaque nouvelle assise surplombant légèrement la précédente. Cette technique, appelée *encorbellement*, atteint ses limites dès que l'équilibre d'une assise n'est plus assuré et que la pesanteur la fait basculer dans le vide. Elle est particulièrement adaptée à la construction des voûtes de plan circulaire, surtout quand celles-ci sont de taille modeste.

Pour franchir des portées encore plus grandes, on a eu recours au principe de l'*arc*. Pendant longtemps, on a construit des arcs en plein cintre, c'est-à-dire décrivant une portion de cercle. Contrairement au linteau, qui ne subit que des charges verticales, l'arc est également soumis à des poussées horizontales, qui tendent à l'effondrer en écartant ses bases. Aussi doit-il avoir une section importante, ce qui a pour conséquence d'alourdir son poids d'une surcharge inutile par ailleurs. De ce fait, le profil circulaire n'est pas la meilleure solution. L'expérience, puis, à partir du XVIII^e siècle, le calcul, ont montré que la parabole était mieux adaptée aux efforts de compression et de tension qui s'exercent dans un arc ou dans une voûte. Dès la fin du XVII^e siècle, Christopher Wren avait, d'une manière tout à fait empirique, infléchi vers la parabole la maçonnerie conique qui porte l'élément supérieur, appelé lanterne, du dôme de la cathédrale Saint-Paul à Londres.

Lorsqu'on sait construire un arc, il devient facile de construire une *voûte en berceau*. La voûte en berceau est engendrée par la simple translation d'un arc, ce qui revient, en quelque sorte, à réaliser une succession d'arcs très rapprochés les uns des autres. Le défaut de ces voûtes est qu'elles sont lourdes et consomment beaucoup de maçonnerie, mais aussi de bois, utilisé comme support pendant la durée du chantier. Aussi leur a-t-on préféré les *voûtes nervurées*. Dans ce cas, des arcs sont dressés entre deux murs parallèles suffisamment épais pour pouvoir assurer la reprise des charges horizontales et verticales, après quoi une voûte en pierre ou en brique, plus légère, est construite entre chaque arc, lequel tient lieu de nervure, en saillie à l'extérieur si l'on veut que l'intérieur de la voûte reste lisse. Les matériaux modernes, béton et acier, et les couvertures légères, telles que le verre, ont favorisé le développement de cette technique aux XIX^e et XX^e siècles.

Les coupoles médiévales sont souvent composées en *voûtes d'arêtes*. Cette technique était déjà connue des Romains, qui l'ont mise en œuvre, par exemple, dans les thermes de la villa d'Hadrien et

dans la basilique de Maxence. Elle a été également utilisée dans l'architecture en béton du XX^e siècle, ainsi qu'en témoignent certaines œuvres de l'ingénieur italien Pier Luigi Nervi. Mais c'est surtout à l'époque romane qu'elle s'est développée. Les coupoles en voûte d'arêtes sont réalisées grâce à l'intersection de plusieurs voûtes en berceau – au moins quatre – qui se rejoignent au sommet. Les arêtes ainsi créées assurent la stabilité de l'ensemble et reposent sur quatre supports ponctuels, généralement des colonnes ou des piliers. Cette technique a constitué un élément déterminant de l'architecture gothique. Les *voûtes d'ogives* sont en effet construites comme des voûtes d'arêtes, leurs arêtes étant formées par des croisées d'ogives.

Une variante de la voûte d'arêtes, la *voûte en éventail*, a été inventée en Angleterre au XIV^e siècle. Elle est composée de voûtains conoïdes qui se croisent en formant des nervures. Les églises gothiques telles que la chapelle de King's College, à Cambridge, sont emblématiques de ce type de construction. La voûte contemporaine du CNIT¹⁵, à Paris, est une transposition de cette technique au béton précontraint. Les *voûtes en arc de cloître* obéissent au même principe, à ceci près qu'elles reposent sur un support continu correspondant à la totalité de leur périmètre. De nombreuses coupoles, notamment celle de la cathédrale Santa Maria del Fiore de Florence, sont en réalité des voûtes en arc de cloître.

Pour édifier un arc ou une voûte, quelle qu'en soit la dimension, un support provisoire, appelé *cintre*, est nécessaire pendant la durée du chantier. Cet ouvrage éphémère est une sorte de moule, généralement en bois, qui présente très exactement le profil de l'arc à construire. Il soutient les pierres ou les briques jusqu'au moment où le maçon a terminé de les mettre en place et où elles se stabilisent sous le simple effet du blocage dû à la pesanteur. Toute l'évolution de l'architecture romane et gothique, en particulier le passage de l'arc en plein cintre à l'arc brisé, puis à la croisée d'ogives, peut s'expliquer par la recherche de performance et d'économie liée à une réduction de l'importance des cintres. Le cintre, en effet, représente une sérieuse complication. La moindre malformation dans sa fabrication, la moindre approximation lors de sa mise en œuvre, risquent d'entraîner l'affaissement ultérieur de la voûte. De plus, c'est un énorme consommateur de bois. Il ne faut pas oublier qu'au début du XII^e siècle les forêts françaises et, dans une moindre mesure, anglaises avaient été dévastées par l'utilisation excessive de bois dans la construction. Or, de toutes les voûtes, celles qui se passent le plus aisément de cintre sont les voûtes de plan circulaire, autrement dit les coupoles. C'est pourquoi, alors que les voûtes qui nécessitent des cintres sont un luxe dans les contrées où le bois est rare, il n'est pas surprenant que les coupoles se soient tant développées dans les pays du Proche-Orient et du Moyen-Orient.

Le Grand Palais, Paris

En 1896, un concours était lancé pour la réalisation d'un grand ensemble urbain destiné à relier le palais de l'Élysée et les Champs-Élysées à l'esplanade des Invalides lors de l'Exposition universelle prévue en 1900 à Paris. Le projet devait inclure le Petit Palais, le Grand Palais et le pont, plus tard baptisé Alexandre III. Le Grand Palais, dont il fut décidé qu'il serait conservé après l'événement, de même que le Petit Palais, fut rapidement édifié sur un sol de qualité inégale, ce qui devait être à l'origine de nombreux problèmes. Faut-il un nombre suffisant de pieux en chêne, les têtes des fondations en sapin allaient en effet pourrir, provoquant par endroits des tassements de l'ordre de 12 centimètres. Consacré le 1^{er} mai 1900 « par la République à la gloire de l'art français », le Grand Palais se compose de deux nefs qui se développent sur 240 mètres de part et d'autre d'une coupole. La couverture des deux nefs et la coupole sont constituées d'une charpente métallique supportant des verrières. Les arcs de métal qui se rejoignent au sommet de la voûte sont maintenus par des anneaux horizontaux auxquels la coupole doit son allure surbaissée. Le diamètre de la coupole a été calculé pour pouvoir abriter par la suite une piste équestre ; on appelait d'ailleurs « paddock »

¹⁵ Centre national des industries techniques, 1989. Ingénieur : N. Esquillau ; architectes : R. Camelot, J. de Mailly, B. Zehrfuss.

l'espace qu'elle recouvrait. Avec ses 90 mètres de diamètre et ses 43 mètres de hauteur, il s'agit de la plus grande verrière métallique en forme de coupole datant de cette époque.

La récente réhabilitation du bâtiment, et plus particulièrement de la coupole, a représenté une opération exceptionnelle. La charpente métallique de la coupole a été placée sur des vérins hydrauliques et soulevée de 9 centimètres, ce qui a permis de remplacer les éléments défectueux de la charpente et de changer tous les carreaux de verre.

Le petit palais des sports, Rome

L'ingénieur italien Pier Luigi Nervi (1891-1979), qui se consacra très jeune à l'étude du béton armé, est l'inventeur du procédé appelé *ferro-cemento*, qui lui a permis de réaliser des structures légères, souples, fines, très résistantes et extrêmement économiques. Il a appliqué cette technique à la construction de toutes sortes d'ouvrages : un stade à Florence, des hangars d'aviation à Orvieto, un palais d'exposition à Turin, et même un voilier de croisière.

Le palais des sports qu'il a conçu pour les Jeux olympiques de Rome en 1960 est une coupole dont la voûte circulaire surbaissée, d'un diamètre de 60 mètres, est composée de 1 620 éléments en losange préfabriqués en béton armé. La voûte elle-même est une coque en béton armé très mince stabilisée par un système de nervures diagonales délimitées par les losanges. Elle est posée sur une structure formée de 36 éléments extérieurs en « Y » qui libèrent totalement une vaste imposte vitrée. Cette transparence a pour effet de détacher la coupole du reste du bâtiment et de lui donner une apparence de grande légèreté. À l'intérieur de l'édifice, cette impression est accentuée par la finesse des nervures, ainsi que par la lumière qui pénètre par le vitrage et par la lucarne en forme d'oculus située au centre de la coupole. L'ouvrage est ancré dans le sol par un anneau de béton précontraint de 81,50 m de diamètre et 2,50 m d'épaisseur.

Typologie

Il existe différentes techniques de construction des coupoles. On peut réaliser une *coupole monolithique*, taillée dans un unique bloc de pierre. Il s'agit d'une prouesse impressionnante qui s'est peu développée compte tenu des difficultés de transport et de mise en œuvre qui s'attachent à ce type d'ouvrage extrêmement lourd – 300 tonnes dans le cas du mausolée de Théodoric à Ravenne – et peu maniable. Il est plus simple d'appareiller une *coupole en encorbellement* en superposant une succession d'assises concentriques, composées en principe de briques ou d'éléments de pierre taillée – mais pas exclusivement, puisque les igloos aussi sont construits selon cette technique. Les assises forment des anneaux parallèles qui vont décroissant jusqu'à la clé de voûte, chacun d'eux recevant une rangée de briques ou de pierres qui surplombe légèrement la précédente. Tant que la nouvelle assise ne déborde pas excessivement sur le vide, le cintre est superflu. De cette technique sont issues la plupart des coupoles antiques, de même que celles des habitats vernaculaires, comme les bories. Bien entendu, plus le profil de la voûte est bas, plus la stabilité de l'ouvrage est difficile à assurer pendant le chantier, ce qui rend nécessaire le recours au cintre. On peut en déduire le profil optimal de la voûte en encorbellement : même s'il varie légèrement selon le matériau employé, son angle de courbure par rapport à la verticale approche les 50 degrés. Cela explique que l'on ait commencé par construire des coupoles plus ou moins coniques, avant de rechercher de façon empirique des procédés de mise en œuvre permettant de surbaissier les voûtes sans devoir faire appel à des cintres.

C'est ainsi que sont apparues les *coupoles nervurées*. Les nervures sont des arcs qui raidissent la voûte, laquelle est alors plus légère et plus proche de la demi-sphère. La coupole de Sainte-Sophie, à Istanbul, est raidie par quarante nervures qui convergent vers son sommet. La coupole à *double coque* est composée de deux calottes reliées entre elles, l'une intérieure, l'autre extérieure. Les liaisons entre les deux coques et les évidements qui en résultent offrent « presque la rigidité de la

masse pleine¹⁶ ». Cette technique a été initiée en Occident par Brunelleschi, à l'occasion de la construction de Santa Maria del Fiore, à Florence. Auparavant, en 1315-1325, la coupole en brique du mausolée d'Uldjaitu, à Sultaniyeh, en Iran, avait déjà été édifiée sans cintres, avec une double coque de 26 mètres de diamètre sur 52 mètres de hauteur.

Dans les premiers temps du christianisme, en Syrie, la plupart des architectes ont cherché à éviter les difficultés liées aux coupoles maçonnées en leur préférant des dômes en bois, aussi appelés *fausses coupoles*. C'est le cas à la cathédrale de Bosra, à la basilique de Saint-Siméon-Stylite ou encore à la rotonde du Saint-Sépulcre. À Jérusalem, de même, le Dôme du Rocher possède une double coque en bois. En Perse, la grande coupole de la mosquée du Vendredi d'Ispahan est elle aussi en bois. Dans l'architecture de l'époque classique, le dôme, souvent combiné à une voûte intérieure, est devenu un élément d'architecture à part entière – c'est un élément de toiture circulaire qui peut être assimilé à une coupole.

Il est possible, enfin, de réaliser des *coupoles en structures tendues*. La tente, dont la fabrication est très ancienne, constitue la technique de prédilection de nombreux peuples nomades. Sa construction ne nécessite que des matériaux légers : des poteaux en bois, du tissu ou des peaux, des anneaux et des tendeurs, généralement en corde. Lorsqu'on remplace les poteaux par des arceaux, la tente prend l'aspect d'une coupole et bénéficie de ses qualités d'espace intérieur. Depuis plusieurs décennies, la mise au point de matériaux textiles très résistants tendus par des câbles d'acier inoxydable a permis de réaliser des structures tendues de plan circulaire et de grandes dimensions.

La chapelle Saint-Louis de l'hôtel des Invalides, Paris

Pour achever le projet d'hôtel destiné par Louis XIV à ses soldats invalides, il restait à construire une chapelle. Après plusieurs tentatives insatisfaisantes menées par Libéral Bruant, l'auteur de l'hôtel des Invalides proprement dit, le roi fit appel à un jeune architecte talentueux du nom de Jules Hardouin-Mansart, petit-neveu de François Mansart. Ce dernier lui soumit l'esquisse d'une église royale grandiose qui flatta le goût du monarque. Le sanctuaire était composé de deux parties distinctes : un chœur – l'église des soldats – et la chapelle royale, recouverte d'un dôme, qui devait être réservée aux visiteurs et plus particulièrement au roi.

Le dôme de la chapelle des Invalides, dont la structure est composée d'une charpente en bois, est voué avant tout à être admiré de l'extérieur, tel un repère doré planté dans le paysage parisien. Une succession de voûtes, indépendantes du dôme, confère à l'intérieur de l'église son caractère majestueux. Ainsi, le grand autel, situé à l'origine sous la coupole – il fut déplacé lorsque l'édifice accueillit le tombeau de Napoléon –, était alors surmonté d'un baldaquin à colonnes torsées – réminiscence de l'antique insigne impérial – semblable à celui que Bernin avait réalisé à Rome pour l'autel de la basilique Saint-Pierre, puis d'une première coupole tronquée interrompue au niveau des fenêtres afin de laisser pénétrer la lumière, ensuite d'une calotte supérieure tirant parti de cet éclairage pour mettre en valeur la fresque de Charles de Lafosse *À la gloire du roi et à la postérité de ses armes*, et cela sans qu'on perçoive d'en bas la séparation entre les deux parties, et, enfin, d'un dôme, recouvert de plomb doré et surmonté d'une lanterne, dont la silhouette est bien reconnaissable dans le paysage parisien. Toutes les ressources de l'architecture et de son ornementation furent mises au service de cette gigantesque composition. Malheureusement, l'installation sous le dôme des cendres de Napoléon I^{er} a porté une atteinte définitive à l'aspect intérieur de l'édifice. En transformant l'église royale en panthéon impérial, la crypte creusée sous le dôme a eu pour effet de séparer les deux éléments originaux de l'église de Hardouin-Mansart.

¹⁶ Auguste Choisy, *Histoire de l'architecture*, Paris, vol. 2, Paris, 1899.

Zones de transition

La coupole est un ouvrage complexe, qui nécessite des connaissances techniques et géométriques approfondies, une main-d'œuvre compétente, des matériaux adaptés. Pourtant, aussi longtemps qu'elle s'élève en encorbellement sur des murs eux-mêmes circulaires, sa construction reste relativement aisée : il suffit que la masse des murs qui la soutiennent soit suffisamment importante pour qu'ils soient en mesure de reprendre les poussées horizontales et verticales exercées par son poids. Ce type de disposition n'est pas récent : on en trouve des exemples dans des entrepôts de l'ancienne Égypte, dans des thermes romains et dans de nombreux monuments funéraires antiques. Le Panthéon romain et les édifices qu'il a directement inspirés en sont les représentants les plus impressionnants, mais ils ne sont pas nombreux. La réalisation d'une coupole se complique singulièrement lorsqu'on veut l'ériger sur un bâtiment de plan carré ou rectangulaire, ce qui s'avère souvent nécessaire, et ce qui est effectivement le cas le plus fréquent.

La difficulté vient du fait que la demi-sphère qu'est la coupole ne repose naturellement que par quatre points, au mieux par huit, sur les murs verticaux qui la soutiennent, ce qui ne suffit pas à assurer sa stabilité. Aussi est-il indispensable d'assurer une continuité entre la voûte sphérique de la coupole et les murs orthogonaux du socle. D'autre part, le poids de la coupole doit être réparti de la façon la plus uniforme possible sur les murs porteurs afin que les poussées qu'il engendre ne soient pas excessives. D'où l'importance de l'articulation entre la courbe de la coupole et l'angle droit des murs porteurs. C'est seulement quand ont été résolus les problèmes posés par cette articulation que les coupoles ont pu se généraliser dans une architecture largement vouée à l'angle droit. Il s'agit là d'un détail de construction relativement sophistiqué que les architectes appellent *zone de transition*. Après des siècles d'expérimentation et de mise au point empirique, des solutions différentes ont été trouvées selon les régions et les époques, chacune révélant les capacités technologiques de la civilisation qui la fournit. La façon dont la zone de transition a été pensée, les évolutions qu'elle a connues, les multiples influences, orientales ou occidentales, qu'elle a subies au cours des âges, permettent de tracer une sorte d'itinéraire géographique que jalonne depuis plus de deux mille ans l'architecture des bâtiments à plan centré.

Dès le III^e siècle, quelques timides essais de raccordement ont été menés dans le but d'assurer une transition maçonnée entre les éléments cubique et circulaire des édifices à coupole. Une première tentative, d'origine syrienne, semble avoir consisté à transformer le plan carré du socle en octogone grâce à une simple pierre plate posée horizontalement sur le mur à chacun des angles du bâtiment. Après quoi une seconde rangée de pierres a transformé l'octogone ainsi obtenu en un polygone à trente-deux côtés selon un principe d'encorbellement relativement primaire répété à chaque assise, et cela jusqu'à épouser la forme de la coupole. Ce premier dispositif de raccordement au moyen de *dalles plafonnantes*, ou dalles angulaires, constitue ce que l'archéologue français Melchior de Vogüé (1829-1916) appelait un « pendentif rudimentaire ». Simple et pratique à réaliser, il ne pouvait toutefois convenir qu'à des constructions de dimension modeste. Il était en effet difficile de trouver des pierres plates suffisamment grandes et solides pour remplir ce rôle de support.

Par la suite, la technique de la *coupole sur pendentifs* s'est peu à peu précisée. Les pierres plates de la dalle plafonnante posées sur les quatre coins supérieurs du cube ont été arrondies. Puis on a cherché à prolonger la coupole vers le bas au moyen d'assises concentriques, l'objectif étant de mieux accompagner la transition en faisant descendre la courbure de la sphère jusqu'à l'intersection de deux murs porteurs. Pour comprendre le principe du pendentif, il suffit d'observer l'intersection d'un cube et d'une sphère dont la circonférence passe par les quatre points qui délimitent la base du cube : le pendentif est le triangle sphérique concave qui assure un raccord parfaitement homogène entre ces deux éléments géométriques. Lorsque les pendentifs présentent la même courbure que la coupole, on parle de *coupole en pendentifs* ; quand leur courbure est différente, on parle de *coupole sur pendentifs*. Des pendentifs plus ou moins bien réalisés, datant des III^e et IV^e siècles, ont été retrouvés à Pétra, Amman, Gerasa (l'actuelle Djerach, en Jordanie), Samarra (en Iraq), puis à Thessalonique, dans l'église Saint-Georges. Mais c'est seulement au V^e siècle, lors de la construction du mausolée de Galla Placidia à Ravenne, que le pendentif a atteint sa forme pratiquement définitive. Également employé à Sainte-Sophie, il constitue la solution technique la plus fréquemment adoptée par les maîtres d'œuvre occidentaux, surtout à partir de la Renaissance.

Une autre grande technique utilisée pour construire les coupôles est celle des *trompes d'angle*. Mise au point en Perse, elle consiste, afin de passer du carré de la base au cercle de la coupôle, à réaliser quatre arcs formant de petites voûtes à chaque angle supérieur du carré de la structure porteuse. Les sommets de ces voûtes permettent de composer un octogone avec les côtés du carré surélevés jusqu'à la base de la coupôle. Caractéristiques de la construction en brique répandue dans leur région d'origine, les trompes d'angle ont d'abord été une « invention empirique de maçon », pour reprendre les termes de l'archéologue André Godard, sans formalisation géométrique réellement aboutie¹⁷. Dans sa première version, l'arc de la trompe d'angle était semi-circulaire. Plus tard, pour renforcer ses qualités structurelles, les architectes iraniens lui donnèrent la forme d'une ogive. Cette solution s'est d'abord développée en Perse, puis dans tous les pays d'Asie centrale et du Moyen-Orient, avant de se répandre au-delà, tant dans l'architecture islamique que dans celle d'Occident.

Cependant, d'un strict point de vue géométrique, la zone située entre les trompes restait mal définie. Pour en améliorer le traitement, les Perses s'efforcèrent de l'habiller en y pratiquant des ouvertures ou en y insérant des niches de même taille que les trompes. C'est sous cette forme primitive que cette technique a d'abord gagné l'ensemble de l'Empire sassanide, l'Arménie et l'Iraq. Elle a connu une première évolution au début du X^e siècle avec la création de quatre arcs supplémentaires entre les trompes, de même dimension que celles-ci. La coupôle reposait ainsi sur huit points d'appui au lieu de quatre, ce qui rendait nécessaire l'apparition d'un tambour octogonal faisant fonction de socle. La zone des trompes était néanmoins toujours mal définie, surtout dans les coupôles de grande taille. C'est ainsi qu'à vu le jour, dans le courant du XI^e siècle, la *coupôle sur réseau*, dans laquelle huit nouveaux arcs plus petits que les trompes venaient s'intercaler entre les huit grands arcs composant le tambour octogonal. En reliant la pointe de ces arcs, on obtenait un polygone à seize côtés sur lequel reposait désormais la coupôle. Ce nouveau procédé assurait une meilleure transition aussi bien structurelle que visuelle entre le carré de la base et le cercle de la calotte.

Cette solution eut pour conséquence la disparition des trompes d'angle au profit d'un réseau d'arcs de plus en plus nombreux. Le nombre toujours plus important de ces voûtains permettait à la fois de mieux répartir les charges et d'accompagner harmonieusement la courbure des voûtes. Mais les impératifs de la construction et la taille des briques utilisées par les bâtisseurs perses fixaient une dimension optimale des voûtains au-dessous de laquelle il était difficile de descendre. Lorsque les architectes musulmans voulurent, pour des raisons d'esthétique, augmenter le nombre des voûtains et diminuer leur taille, la brique se révéla inadaptée. Le réseau, dont la vocation initiale était d'ordre structurel, se transforma alors en élément de décoration, les muqarnas.

Les *muqarnas*, ou *stalactites*, constituent une spécificité de l'architecture musulmane. Ils résultent d'une extension du principe du réseau permettant, grâce à la superposition sur plusieurs niveaux de cellules indépendantes disposées en encorbellement, d'épouser la courbure de n'importe quel élément d'architecture circulaire, et tout particulièrement d'un élément de coupôle. Issus de l'architecture persane, les muqarnas ont d'abord été conçus pour être réalisés en brique. Dans un premier temps, les architectes du Proche-Orient les transposèrent en pierre, ce qui leur permit de mieux maîtriser la dimension. Bientôt, du fait de leur développement rapide dans toutes les régions de culture islamique et de la multiplication du nombre de leurs cellules, lesquelles étaient de plus en plus petites, ils durent être confectionnés dans des matériaux plus faciles à travailler, le stuc, le plâtre ou le bois, parfois revêtus de faïence. Alors que les trompes d'angle, et le réseau auquel elles avaient donné naissance, avaient joué un rôle structurel en assurant la stabilité de la coupôle, c'est en tant que motif d'ornementation que les muqarnas se sont répandus dans l'architecture islamique, où ils furent suspendus, tels des faux plafonds, à la coupôle de pierre ou de brique qui assurait le couvrement des édifices. Obéissant à une géométrie complexe, le tracé des muqarnas résultait de la rotation de polygones réguliers dans un cercle, selon des épures extrêmement

¹⁷ Voir André Godard, « Historique du Masjid-é-djumâ d'Ispahan », in *Athar-é Iran, Annales du service*

sophistiquées sur lesquelles se sont penchés nombre de grands mathématiciens musulmans, au premier rang desquels Al-Kachi (1380-1429)¹⁸.

La technique de la *pyramide angulaire*, très usitée en Inde, consiste à passer du plan carré au plan octogonal grâce à quatre raccordements triangulaires figurant les quatre faces d'une pyramide inversée. Faits de brique, de pierre ou de stuc, ces éléments d'angle forment des consoles composées d'assises de taille croissante posées en encorbellement.

Quant à la technique de la *frise triangulée*, surtout répandue dans l'architecture ottomane, elle utilise une succession d'éléments triangulaires pour assurer la transition entre le cube et la calotte de la coupole. Ici, les triangles sont alternés, leur sommet venant d'une fois sur l'autre au contact du plan carré puis de la calotte circulaire. Il en résulte une frise conique qui s'adapte parfaitement à la géométrie pour le moins imprécise de la zone de transition.

¹⁸ Voir Michel Écochard, *Filiation de monuments grecs, byzantins et islamiques : une question de géométrie*, Paris, 1977.

3. Orient

En l'an 700 de notre ère, il est probable que Cordoue et Samarkand n'avaient pas connaissance l'une de l'autre ; en 800, elles faisaient partie du même monde, ce qui n'était plus le cas en 1200.

Oleg Grabar, *La Formation de l'art islamique*

Paysages de coupoles

Les coupoles sont plus présentes dans l'architecture islamique que dans aucune autre civilisation. Elles sont peut-être l'élément le plus emblématique de ce que l'historien orientaliste Georges Marçais a appelé « le dernier-né des arts du vieux monde¹⁹ ». Cette architecture extraordinairement complexe et d'une fécondité remarquable s'est développée pendant près de dix siècles entre l'Atlantique et l'Indus, recouvrant de coupoles de nombreux paysages dont elles constituent le principal élément unificateur. En dépit de leur immense diversité, les coupoles d'inspiration islamique font en effet figure de repères à la fois géographiques et symboliques. Elles jalonnent les itinéraires de la conquête musulmane et illustrent l'hybridation des cultures qui en est découlée.

Quand, au début de leur expansion, les premiers califes implantèrent leur capitale dans les provinces du Croissant fertile, d'abord à Damas, puis à Samarra et enfin à Bagdad, ils disposaient d'un savoir-faire limité en matière de maîtrise d'œuvre. Ils s'appuyèrent donc sur l'expérience confirmée des bâtisseurs syriens, qui avaient une longue tradition derrière eux : ils connaissaient bien les techniques de maçonnerie antiques et byzantines, étaient experts en stéréotomie – la science de la coupe des matériaux – et n'ignoraient rien des modes de construction des architectes sassanides.

Le premier édifice dû aux conquérants musulmans est le Dôme du Rocher, dans lequel Oleg Grabar voit une interprétation islamique du martyrium chrétien²⁰. Héritier des mausolées romains dont les architectes byzantins avaient perpétué le modèle et dont les Syriens de l'époque chrétienne s'étaient également inspirés, il était naturel qu'il influençât à son tour l'architecture funéraire islamique. Malgré les principes égalitaires du Coran, qui ne favorisaient pas la réalisation de monuments destinés à abriter des sépultures, des mausolées, les *koubbas* – ce qui signifie « coupole » en arabe –, furent édifés sur toutes les terres d'Islam. En effet, cette tradition antique puis chrétienne constituait un exemple trop tentant pour être rejeté. Il est d'ailleurs significatif que le premier mausolée musulman, en 862 après J.-C., ait été construit à Samarra par une mère d'origine chrétienne soucieuse d'honorer son fils, le calife al-Mountazir. À partir du IX^e siècle, princes et dignitaires religieux se firent élever des mausolées inspirés à la fois des monuments funéraires romains et des martyriums byzantins, mais aussi du Dôme du Rocher. La taille, les matériaux, l'ornementation extérieure et intérieure, la forme même de la coupole varieront à l'infini. Mais de Boukhara au Caire, de Damas à Agra, du modeste marabout nord-africain au somptueux Taj Mahal, tous les mausolées reprendront ce modèle : une base cubique faisant référence à la Kaaba, une zone de transition généralement composée de trompes d'angle ou de muqarnas, d'un tambour presque systématiquement percé d'ouvertures qui éclairent la voûte et, en couverture, une calotte à base circulaire. La composition de ces édifices trahit l'origine pythagoricienne de l'amour des Arabes pour la géométrie.

Si le plus ancien mausolée islamique sortit de terre en Iraq, c'est peut-être en Égypte que ces monuments furent le plus nombreux et les plus variés. Les califes fatimides (XI^e-

¹⁹ Georges Marçais, *L'Art musulman*, Paris, 1962, p. 179.

²⁰ Voir Oleg Grabar, *La Formation de l'art islamique*, Paris, 2000.

XII^e siècles) en avaient importé le modèle de Syrie : réalisées en brique, les premières coupoles s'élevèrent sur des édifices faits eux-mêmes de brique ou de pierre. Le cimetière qui s'étend au nord de la ville du Caire renferme plusieurs de ces mausolées parmi les plus célèbres, en particulier ceux de Khansou Abou Saïd (1355) et du sultan Barkouk (1412-1421). Leurs salles funéraires présentent un plan carré. Leurs coupoles, très surhaussées, sont décorées soit de côtes – les godrons –, soit d'entrelacs. Elles sont posées sur des tambours circulaires percés de fenêtres, la transition étant assurée, à l'intérieur, par des pendentifs formés de stalactites et, à l'extérieur, par des prismes taillés en escalier. La nécropole située aux abords de la ville d'Assouan abrite elle aussi un nombre important de ces mausolées en brique datant de l'époque fatimide. Bien que mal entretenus, ils constituent, loin des grands centres prestigieux de l'Empire islamique, une variation intéressante, pour ce qui est de la construction, sur le thème de la coupole.

Si le Dôme du Rocher a brillamment introduit le cercle dans l'art musulman, force est de convenir que, dans un premier temps, c'est d'abord le carré, plus modestement inspiré de la maison de Mahomet, qui a servi de modèle à l'ensemble des mosquées. La demeure du Prophète, située à Médine, comportait une cour carrée de quelque 50 mètres de côté ; un mur de brique crue faisait fonction d'enceinte ; contre le mur de l'est, neuf chambres s'ouvraient directement sur la cour ; le long du mur sud, appelé *qibla*, ou « mur de la prière », un toit plat reposait sur un portique fait de deux rangées de troncs de palmier ; au nord, près de l'entrée, un autre toit abritait les visiteurs de passage ; au centre de la qibla se trouvait un fauteuil sur lequel le Prophète s'installait pour s'adresser à ses fidèles. En dépit de sa sobriété, cette organisation renferme presque toutes les formes symboliques qui devaient caractériser les premières mosquées : la cour, le plus souvent carrée, sera le lieu de rassemblement ; la qibla donnera la direction de la prière, celle de La Mecque ; la salle de prière restera abritée sous un toit plat supporté par des alignements de poteaux rappelant les troncs de palmier, sa taille pouvant ainsi facilement évoluer selon l'importance de la communauté ; la chaire, ou *minbar*, sera le seul meuble indispensable de l'édifice. Deux éléments apparaîtront par la suite : le mihrab, niche creusée dans le mur de la qibla, rappellera l'endroit où se tenait Mahomet dans sa maison, et le minaret, destiné, tout comme le clocher chrétien, à appeler les fidèles à la prière, signalera la présence du bâtiment dans la ville.

Ces références furent inlassablement reprises par les architectes musulmans. Dans les premières mosquées, où le carré domine, la coupole n'était là que pour mettre en valeur l'emplacement du mihrab, dans lequel elle laissait pénétrer la lumière tandis que le reste de la salle de prière demeurait dans la pénombre ; elle indiquait également la direction de La Mecque, créant un axe généralement prolongé par une autre coupole située à l'entrée de la salle et, parfois, par un minaret. Signal, affirmation de l'axe dominant, la coupole n'a cessé de prendre de l'importance, jusqu'à devenir l'élément primordial de l'édifice.

Le Dôme du Rocher, Jérusalem

Parmi les premières réalisations de l'architecture islamique, le Dôme du Rocher, situé sur l'esplanade du Temple à Jérusalem, est sans aucun doute l'une des plus importantes.

En faisant du Rocher le lieu du sacrifice d'Abraham, la légende juive le constituait en quelque sorte comme le centre symbolique de la ville sainte. Lorsque les Arabes prirent Jérusalem, en 637, le calife Omar, venu en personne sur les lieux, reconnut le Rocher comme étant l'endroit d'où le Prophète avait été transporté, la nuit de son ascension. C'est là que le calife Abd al-Malik fit élever le Dôme en 688. L'historien Oleg Grabar voit dans cet événement architectural la prise de possession territoriale et symbolique des civilisations vaincues par les conquérants musulmans. « Abd al-Malik aurait islamisé le lieu saint²¹ », écrit-il. Le monument s'adresse autant aux chrétiens et aux juifs qu'aux musulmans eux-mêmes : la référence à Abraham, personnage commun aux traditions des trois religions, l'implantation de l'édifice au cœur de la ville sainte, sur l'emplacement supposé du saint des

²¹ *Ibid.*, p. xxx.

saints du temple de Salomon, la technique et la forme de son architecture, inspirées des martyriums byzantins bien représentés à Jérusalem, ses décors de mosaïque empruntés aux techniques byzantines et sassanides, les citations du Coran inscrites sur ses façades : tous ces éléments seraient autant de messages adressés aux vaincus. On peut y lire, par exemple, ces extraits de sourates : *Dieu est unique ! Gloire à Lui ! Comment aurait-Il un fils ?* ou encore : *Priez pour votre Prophète et votre serviteur, Jésus, fils de Marie.*

Les dimensions du Dôme du Rocher confirment sa filiation avec les ouvrages à plan centré de l'Empire byzantin. Les tracés géométriques de son plan sont très semblables à ceux de nombreuses églises chrétiennes, notamment à ceux de la rotonde du Saint-Sépulcre toute proche. Il est pourtant peu probable que le calife ait été sensible au symbolisme de la coupole, et son choix semble plutôt avoir eu pour objet d'éclipser l'architecture dont il s'inspirait. Mais il consacrait ainsi la coupole, peut-être de façon inconsciente, comme l'une des formes les plus permanentes de l'architecture islamique.

Le Dôme du Rocher a été confectionné en bois, selon un mode de construction alors très répandu en Palestine. Sa charpente supporte deux coques, l'une extérieure, légèrement bulbeuse et pointue, recouverte de métal doré, l'autre intérieure, parfaitement hémisphérique. C'est probablement ainsi qu'avait été réalisée l'Anastasis, la rotonde de l'église du Saint-Sépulcre. De toute évidence, la coupole intérieure fait référence au firmament. Le dôme extérieur deviendra le prototype dont s'inspireront les architectes musulmans, que leurs coupoles soient en bois, en brique ou en pierre. Son profil en arc brisé sera l'un des éléments les plus caractéristiques de l'architecture islamique, bien avant que les Occidentaux ne l'adoptent sous le nom d'ogive.

La Grande Mosquée de Damas

La Grande Mosquée de Damas a été construite entre 705 et 715 par le calife omeyyade Al-Walid. Les califes omeyyades, qui prirent la succession des premiers descendants directs du Prophète, avaient la volonté de doter l'islam d'un cadre fastueux, monumental et triomphant, en opposition avec l'image sobre et austère de ses premières décennies. La mosquée de Damas a répondu à cette ambition. Elle s'élève sur l'un des plus anciens lieux de culte au monde : son emplacement a d'abord été occupé par un temple d'Hadad, le dieu syrien de l'orage, puis, sous la domination romaine, par un temple de Jupiter, enfin par une basilique byzantine dédiée à saint Jean-Baptiste, dont la tête décapitée est toujours conservée dans la mosquée à titre de relique.

La mosquée de Damas a constitué le premier grand modèle de mosquée monumentale dont les architectes musulmans se soient inspirés pendant des siècles. Il s'agit d'une transposition, à une échelle beaucoup plus vaste, de la référence historique d'origine, la maison du Prophète, que le même calife Al-Walid avait fait reconstruire à Médine. La mosquée est enfermée dans les murs d'enceinte de l'ancien temple grec, qui dessinent un rectangle de 160 mètres sur 100. Deux portes donnent accès à une cour rectangulaire entourée de portiques sur trois côtés. Le quatrième ouvre sur la salle de prière, divisée en trois nefs soutenues par des rangées de vingt-quatre colonnes. Ces nefs s'étendent sur toute la longueur de la cour, parallèlement au mur antique qui la ferme au sud, en direction de La Mecque. Un axe mène de l'entrée monumentale que domine le principal minaret jusqu'au mihrab percé dans ce même mur. Au centre, une coupole, dite coupole de l'Aigle, témoigne de l'importance de ce parcours. Tel un baldaquin impérial, elle est posée sur quatre gros piliers disposés en carré. D'abord réalisée avec une double coque en bois, elle fut reconstruite en pierre en 1069 après que la première eut brûlé. La coupole actuelle, elle aussi en pierre, est portée par quatre trompes reposant sur un tambour octogonal.

L'impulsion perse

Les architectes syriens bâtissaient la plupart de leurs édifices en pierre. Ils construisaient des coupoles sur pendentifs et ont transmis cette technique aux Byzantins. C'est en Perse, au III^e siècle

de notre ère, que sont sans doute nées les trompes d'angle, destinées à assurer une transition entre le plan carré d'un bâtiment et la calotte hémisphérique de sa coupole. Adaptée à la brique, dont l'utilisation était généralisée en Iran, cette technique s'est diffusée vers l'Occident, où elle fut progressivement adoptée.

On a retrouvé un premier exemple de ces trompes d'angle dans le palais de Firuzabad, édifié au début du III^e siècle par Ardacher, fondateur de la dynastie sassanide après sa victoire sur Artaban, le dernier des rois parthes. Le palais était situé près de sources qui assuraient son alimentation en eau ainsi que l'irrigation de ses jardins, à proximité d'une ville circulaire, également fondée par Ardacher, au centre de laquelle on peut encore voir les restes d'un grand bloc de maçonnerie. Il s'agissait peut-être d'une tour du feu, un de ces anciens lieux de culte composés de simples autels en plein air protégés par une coupole posée sur quatre colonnes formant un carré. Construit sur un plan rectangulaire rigoureusement symétrique, le palais faisait face à un bassin circulaire. L'accès au bâtiment était souligné par un grand iwan d'inspiration parthe qui faisait office de vestibule, flanqué de deux iwans de moindre dimension. Le centre du palais était constitué de trois salles d'audience de plan carré, dont la construction relativement médiocre était compensée par des murs de moellons très épais. Chaque salle était surmontée d'une coupole de 14 mètres de diamètre reposant sur des trompes d'angle, quatre petites voûtes dressées sur chacun des angles du carré de base, qui pouvait ainsi se transformer en octogone. Comme l'écrit Auguste Choisy, « on sent un art à ses débuts²² ». Ces premières trompes en pierre, semi-circulaires, avaient en effet été lancées de façon presque hasardeuse au-dessus de l'angle du cube. La technique devait s'améliorer au cours des siècles suivants, ainsi qu'en témoignent, également en Iran, les coupoles du palais de Sarwistan, datant du VII^e siècle.

Lorsque les premiers bâtisseurs islamiques adoptèrent la brique, après la rapide conquête de l'Empire sassanide par les cavaliers arabes, ils apportèrent à la trompe deux changements décisifs : d'abord un profil ogival, ensuite des nervures destinées à renforcer sa solidité – une évolution similaire à celle des voûtes à nervures médiévales qui allaient se développer quelques siècles plus tard en Occident. Ce faisant, ils initiaient un processus qui devait donner naissance à l'une des grandes originalités de l'art islamique, les *muqarnas*, ou stalactites. La principale difficulté que les bâtisseurs des premières coupoles sassanides rencontrèrent avec les trompes d'angle tenait à la mauvaise définition de l'espace situé entre chaque trompe. Cet espace, appelé *zone des trompes*, n'était pas facile à traiter car sa surface était gauche, peu stable, formellement imprécise. Cette faiblesse était probablement à l'origine de l'écroulement de nombreuses coupoles dans une région où les séismes sont relativement fréquents. Les architectes de Firuzabad avaient tenté de réduire la difficulté en insérant une petite niche aveugle à cet endroit. Leurs successeurs accentuèrent cet effet décoratif en transformant la niche en fenêtre de la même taille et de la même forme que celles des trompes elles-mêmes.

La zone de transition octogonale, composée de huit arcs brisés continus, se généralisa peu après la conquête arabe. La coupole reposait alors sur les pointes des huit arcs. Dans un pays où, nous l'avons dit, les tremblements de terre sont fréquents, ce support s'est probablement révélé encore insuffisant pour assurer la solidité de l'édifice. Pour suppléer à cette faiblesse, les architectes ont choisi de consolider l'ensemble de la base octogonale au moyen d'un réseau venant rigidifier les huit arcs ainsi que les triangles situés entre chacun d'eux. Grâce au polygone à seize côtés ainsi créé au-dessus de l'octogone de base, le poids de la coupole se répartissait non plus sur huit pointes, mais sur seize, et sa stabilité s'en trouvait renforcée. Des ébauches relevées dès le VIII^e siècle dans le palais de Raqqa, en Syrie, dans le mausolée de Sembest, à Khorasan, et dans celui d'Ismaïl Samani, à Boukhara, le confirment. L'édifice funéraire de la dynastie samanide est l'un des plus anciens mausolées islamiques conservés jusqu'à nos jours. C'est un bâtiment cubique en brique de 10,80 m de côté, surmonté d'une petite coupole qui repose sur quatre trompes d'angle. Le mausolée est éclairé grâce aux dix fenêtres situées au sommet de chacun des murs.

²² Auguste Choisy, *L'Art de bâtir chez les Byzantins*, Paris, 1883, p. xxx.

Bien entendu, des qualités décoratives ne manquèrent pas de s'ajouter à la nécessité structurelle qui avait présidé à la naissance du réseau. Ainsi virent le jour les coupoles à stalactites, qui se répandirent bientôt dans l'ensemble du monde musulman.

La mosquée du Vendredi, Ispahan

Dès ses origines, la mosquée persane s'est distinguée de celle de son homologue arabe. Si l'Iran conquis par l'Islam accepta certains principes appartenant à son vainqueur, il les traita selon ses propres traditions. La mosquée persane s'organise autour d'une cour, tout comme sa sœur arabe. Mais, contrairement à cette dernière, elle est encadrée par quatre demi-coupoles, les iwans, disposées au centre de chacun de ses côtés. L'origine de l'iwan remonte probablement aux habitations parthes, dont le toit voûté était fait de roseaux. Les empereurs sassanides l'avaient adopté dans de nombreux palais, notamment à Firuzabad, Sarwistan et Ctésiphon. Il s'agit donc d'un élément appartenant à la tradition persane que les architectes musulmans ont adapté aux fonctions de la mosquée. La mosquée du Vendredi d'Ispahan représente une étape clé de cette évolution. Son iwan principal donne accès à une salle de prière, surmontée d'une coupole, qui abrite le mihrab situé en direction de La Mecque. L'archéologue André Godard compare l'ensemble formé par la cour, l'iwan et la coupole à un kiosque, ce petit pavillon princier inspiré des antiques tours du feu zoroastriennes²³.

À l'autre extrémité de la mosquée se dresse une autre coupole, plus petite mais plus somptueuse, qui souligne l'axe nord-sud de l'ensemble et accentue l'importance de la cour centrale. La cour, en effet, est l'élément essentiel de la mosquée iranienne. Avec son bassin et ses décors luxuriants, elle est une représentation du jardin de paradis. Cette image est renforcée par la présence des quatre iwans, conçus comme une zone de transition reliant l'espace de la cour à la voûte céleste, qui en serait le prolongement infini. Dans cette analogie, le kiosque-coupole figurerait l'arbre de Vie, que le Coran situe dans le jardin du séjour éternel.

Les deux coupoles de la mosquée du Vendredi d'Ispahan sont les seuls éléments qui subsistent de l'édifice original du x^e siècle. Réalisées en briques cuites, elles constituent l'un des plus anciens exemples connus de voûtes nervurées, ancêtres des stalactites. Leur réseau entrecroisé amplifie le principe des trompes au moyen d'un enchaînement qui commence tout près du sol et s'élève vers leur sommet. Les alvéoles formées par ces nervures se présentent comme de larges triangles bombés en brique qui s'articulent selon une savante géométrie. Les motifs décoratifs sont d'une grande sobriété, la brique naturelle alternant avec la faïence colorée.

L'apparition des stalactites

En 750, le renversement de la dynastie omeyyade par les Abbassides a représenté un tournant essentiel dans l'histoire de l'Islam et de son architecture. Les nouveaux califes quittèrent Damas et installèrent leur siège à Samarra, puis à Bagdad. Si les premières mosquées qu'ils édifièrent à Samarra et Abou-Dolaf ne comportent pas de coupoles, leur minaret hélicoïdal évoque les tours du feu perses. Délaissant l'appareil en pierre taillée des maçons syriens et les traditions ornementales des artistes byzantins, les architectes musulmans adoptèrent dès le x^e siècle les techniques de l'architecture du Nord-Est iranien, s'inspirant des coupoles qui s'étaient développées dans la région depuis l'époque seldjoukide jusqu'à l'époque timouride.

Ils transposèrent à la construction en pierre la technique des réseaux perses faits de brique cuite ou séchée au soleil. De là découle la technique des muqarnas, à laquelle l'historien

²³ Voir André Godard, *Ispahan, Athar-é Iran*, 1937.

britannique K. A. C. Creswell a donné le nom évocateur de *stalactites*²⁴. Les muqarnas sont des alvéoles en forme de trompes d'angle. Une fois multipliées et juxtaposées, ils peuvent épouser la courbure d'un arc, d'une sphère, d'une corniche. La géométrie des stalactites nécessitait des connaissances mathématiques très approfondies qui variaient selon les régions et les époques. À l'occasion des recherches qu'il a menées lors de la restauration d'ouvrages situés en Syrie, l'architecte Michel Écochard a montré que le tracé géométrique des stalactites était issu de la rotation de plusieurs carrés à l'intérieur d'un même cercle, à l'image de la rotation qui, pendant plusieurs siècles, avait présidé à la composition des plans de bâtiments centrés. Chaque cellule était dessinée selon une épure comparable à celle de l'ensemble de la voûte. Autrement dit, les parties rejoignent le tout dans une même géométrie.

Cette technique se développa très rapidement le long des rives méridionales de la Méditerranée. Les muqarnas s'appliquèrent aux coupoles comme aux minarets, aux portails, aux iwans, aux frises, aux chapiteaux, aux meubles, etc. Aux XI^e et XII^e siècles, d'innombrables bâtiments en muqarnas s'élevèrent sur le pourtour méditerranéen. Ainsi du mausolée de l'imam Dur, construit à Samarra en 1085, ou du minaret du mausolée de l'imam al-Dawr, érigé en 1075-1790 près de Bagdad. En Syrie, on peut citer la madrasa al-Nuriyya al-Kubra, bâtie en 1172 à Damas. Au Caire, les muqarnas envahirent les édifices tout au long du XI^e siècle, notamment sur les corniches du minaret de Badr al-Jamali et sur la zone de transition de la plupart des coupoles. Au XII^e siècle, l'Espagne, le Maghreb et la Sicile normande assistèrent à leur tour au fantastique développement des voûtes à stalactites, par exemple à Grenade, dans les salles des Abencérages et des Deux-Sœurs de l'Alhambra.

Le rayonnement des muqarnas dans l'architecture islamique ne peut cependant s'expliquer par des seules raisons techniques. Certes, la voûte à stalactites, de même que toutes les coupoles, doit être considérée comme une représentation de la voûte céleste : sa capacité à capter la lumière rasante tout au long de la journée, sa propension, qui en découle, à se transformer à chaque heure, accentue cette image. Mais sa fragmentation en une multitude de petits éléments a fait l'objet d'autres interprétations. Il est possible de rapprocher les coupoles à muqarnas de la doctrine musulmane selon laquelle la matière aurait une composition « atomique ». Selon cette thèse, tout, en dehors de Dieu, serait composé d'atomes et d'accidents, lesquels caractériseraient la matière par la forme, la lumière, les couleurs qu'ils lui donnent tout en restant dépendants de la volonté de Dieu comme de son intervention continuelle. La matière serait ainsi délimitée par l'espace et par le temps, sur lesquels Dieu exerce un empire absolu. Cette conception atomiste de l'univers est une bonne analogie de la coupole à stalactites, dont les parties sont si sensibles aux variations de la lumière, métaphore suprême de la divinité.

La mosquée de Kairouan, Tunisie

La ville de Kairouan, première cité musulmane d'Afrique du Nord, fut fondée par les Arabes en 670 lorsqu'ils occupèrent l'Ifriqiya, l'actuelle Tunisie. La mosquée la plus ancienne, bâtie en brique la même année, présente un plan traditionnel inspiré de celui de la Grande Mosquée de Damas. Elle fut reconstruite une première fois en 772-774, puis de nouveau en 836, en pierre cette fois, par les Aghlabides, gouverneurs de la région et vassaux des califes abbassides de Bagdad.

Un mur d'enceinte encercle l'édifice ainsi que sa vaste cour d'accès entourée de portiques. La salle de prière est composée de dix-sept nefs à arcades dont les poteaux sont pour la plupart des colonnes provenant de monuments antiques. La nef principale, plus large que les autres, mène au mihrab. Sur son axe sont alignées deux coupoles. L'une, située en façade sur la cour, très remaniée, signale l'entrée de la salle de prière. L'autre se dresse en avant du mihrab. Ce même axe se prolonge à

²⁴ Voir K. A. C. Creswell, *Early Muslim Architecture*, Oxford, 1932-1940, 2 vol.

l'extérieur jusqu'au minaret de plan carré qui se trouve, légèrement décalé, à côté du portail d'entrée de la grande cour et que surmonte une coupole similaire aux deux autres.

La coupole qui s'élève en avant du mihrab a inspiré de nombreuses mosquées d'Afrique du Nord. Sa base est carrée et faite de pierre taillée. Un tambour octogonal, percé de fenêtres sur chacune de ses faces, assure la transition entre cette base et la coupole proprement dite. Il est soutenu par quatre trompes d'angle en forme de coquilles, inscrites dans des arcs reposant sur des colonnettes. D'autres arcs, de forme et de taille identiques à celles des précédents, relient les trompes entre elles. Les décors dont ils sont ornés rappellent les coquilles des trompes. Colonnes et arcs unifient la décoration tout en contribuant à la solidité de l'ouvrage. La coupole, hémisphérique, est composée de vingt-quatre côtes fortement bombées qui sont posées sur la corniche supérieure du tambour, lequel présente un extérieur légèrement concave.

La Grande Mosquée de Cordoue

Seul rescapé du massacre des Omeyyades, qui avaient régné sur Damas pendant quatre-vingt-dix ans, Abd al-Rahman débarqua en Espagne avec une troupe de cavaliers, s'empara de Séville et de Cordoue et prit en 756 le titre d'émir d'Andalousie – *al-Andalus*. En 785, il lança le chantier de la Grande Mosquée, qui dura deux siècles. La première mosquée, d'une surface de quelque 5 000 m², était composée d'une salle hypostyle de onze nefs précédée d'une cour. Cet espace fut doublé entre 832 et 848. Une deuxième extension fut entreprise soixante ans plus tard, puis une autre à partir de 961, sans que le nombre de nefs s'en trouve augmenté. Un dernier agrandissement, en 987, ajouta huit nefs aux onze existantes, faisant de la mosquée de Cordoue le plus vaste ouvrage de ce type de l'Islam occidental.

Réalisé lors de l'extension de 961, le mihrab constitue le lieu le plus précieux de l'édifice, une sorte de saint des saints. La niche, sombre espace octogonal à l'entrée surmontée d'une coquille Saint-Jacques, est creusée dans le mur épais de la qibla. Devant le mihrab se trouve une zone réservée au calife, la *maqsura*, délimitée par une clôture formée d'arcs entrelacés qui s'apparente à l'iconostase des églises chrétiennes. Cet ensemble est recouvert de trois coupoles en pierre : une première coupole d'une grande richesse, flanquée de deux autres plus simplement décorées. À l'extrémité de la nef située dans l'axe du mihrab, une quatrième coupole marque la limite de l'extension de 987. Les deux coupoles latérales sont constituées de huit arcs à nervures d'origine sans doute sassanide qui s'entrecroisent à partir d'une base octogonale avant d'être surmontés d'une petite calotte hémisphérique. Les nervures dessinent un double carré décalé de 45 degrés dont le tracé géométrique est le même qu'au Dôme du Rocher de Jérusalem. La coupole principale est également composée de nervures. Les mosaïques, réalisées par des artistes byzantins que le calife avait empruntés à l'empereur de Constantinople, révèlent une volonté de continuité iconographique par rapport aux premières mosquées construites par les souverains omeyyades à Damas.

Ce type de voûte à nervures s'est répandu dans l'architecture islamique d'Espagne, notamment dans la petite mosquée Bib Mardum de Tolède, aujourd'hui église Cristo de la Luz, et à Saragosse, dans le palais Aljaferia. On a fait l'hypothèse que ces nervures avaient influencé l'architecture occidentale en anticipant les arcs ogivaux de l'époque gothique.

Inspirations orientales

Tout comme la sculpture, l'architecture indienne a été très influencée par la culture mésopotamienne puis gréco-romaine. Cette influence fut moins la conséquence des invasions d'Alexandre le Grand que le fait d'artisans romains installés dans les marches orientales de l'empire et qui s'étaient introduits aux III^e et IV^e siècles dans les vallées de Peshawar, plus particulièrement à Gandhara. Rares sont les monuments d'origine qui sont encore sur pied à Gandhara, mais l'architecture troglodyte de Bamiyan, en Afghanistan, donne une bonne idée de ce que furent ces influences occidentales. Dans certaines grottes, on peut voir le plafond creusé en forme de coupole et des trompes sculptées dans le rocher

destinées à assurer un passage harmonieux du plan carré de la salle à celui, circulaire, de la partie supérieure. De même, on pourra rapprocher la lanterne de la grotte située à l'ouest du grand bouddha de Bamiyan, aujourd'hui détruit, de certaines coupes byzantines ou des coupes de la Grande Mosquée de Cordoue.

Ainsi que l'écrit Georges Marçais, « l'art de l'Islam depuis ses débuts constitue une sorte de charnière entre l'Extrême-Orient et la Méditerranée²⁵ ». En Inde, les coupes islamiques représentent l'apothéose d'un art qui a trouvé ses sources en Iran et en Asie du Sud-Est. Les Arabes avaient atteint le Sind indien dès le début du VIII^e siècle. Malgré de nombreux raids, la conquête du pays s'étendit sur trois siècles, du XI^e au XIV^e siècle, avant de s'achever par la destruction presque totale des temples hindous. Les nouveaux édifices religieux construits sur l'emplacement des anciens furent à l'origine d'un renouveau stylistique. Ils adaptèrent les principes de l'architecture islamique tout en réutilisant les matériaux des temples détruits. Les deux civilisations – ainsi que leurs modes d'expression artistique – fusionnèrent progressivement dans une relative harmonie. Tout, pourtant, les séparait : le désert et la jungle où elles étaient nées ; l'unité d'un empire conquérant face au fractionnement d'un pays divisé ; un sens différent du temps et de l'espace ; une vision du monde opposant l'abstraction géométrique à un goût débordant pour la nature ; une approche très particulière des relations entre intérieur et extérieur ; une attitude antinomique face à l'ornementation, faite d'austérité d'une part et de profusion de l'autre²⁶.

Les premières mosquées indiennes datent de la fin du XII^e siècle. La plus ancienne, celle de Quwat al-Islam, construite à Delhi entre 1191 et 1199, a été conçue selon le plan traditionnel des mosquées arabes, avec une cour, des arcs de plein cintre, une coupole devant le mihrab, des minarets. Les détails de son ornementation et les techniques de sa construction sont pourtant d'inspiration indienne. Pendant la période Khalji, de 1290 à 1320, l'art islamique indien trouva sa personnalité, tandis que les styles régionaux s'affirmaient. La cour intérieure de la mosquée traditionnelle fut supprimée, par exemple dans la mosquée de Nizam al-Din Awiya, à Delhi (1320), ce qui ouvrit la voie au modèle typiquement indien, composé de cours ouvertes accueillant des édifices sacrés. Le dôme central et les coupes latérales situés au milieu de jardins généralement opulents prirent, de ce fait, une place plus importante dans le paysage urbain.

Zahir al-Din Babur, premier empereur moghol (1526-1530), descendant de Tamerlan, était un familier des traditions persanes. En 1533, son fils Nasir al-Din Humayun établit les plans de la ville de Delhi, sa nouvelle capitale, avant de s'exiler en Iran, en 1540-1554, dont il ramena un goût accru pour les arts timourides en vogue à Samarkand et à Boukhara. Le gigantesque mausolée couvert d'un vaste dôme en marbre blanc que sa veuve lui fit élever près de Delhi est le résultat de l'influence de ces apports arabes et perses sur l'architecture hindoue. À l'intérieur d'un carré de 365 mètres de côté, l'édifice est subdivisé en neuf carrés séparés par des canaux. Il est coiffé d'une coupole basse et d'un dôme bulbé qui abrite la salle funéraire. Le successeur d'Humayun, l'empereur moghol Akbar le Grand (1556-1605), construisit plusieurs bâtiments à Agra, puis à Fathpur-Sikri, la capitale qu'il fonda non loin de là. Jami Masjid, sa résidence à Sikri, comprend une salle de prière surmontée de trois dômes. La composition générale de l'ensemble reste influencée par l'Asie centrale, tandis que les détails de la construction sont de toute évidence locaux. L'empereur fut à l'origine de plusieurs autres monuments indo-musulmans, dont le mausolée du cheikh Salim Tchichti à Fathpur-Sikri et son propre mausolée à Skandra.

Cette architecture atteignit son apogée au XVII^e siècle. Tout le monde connaît la genèse du Taj Mahal, construit entre 1631 et 1643, dont le double dôme en forme de bulbe posé sur un haut tambour est clairement d'origine persane. Édifié par Chah Djahan pour abriter la sépulture de son épouse bien-aimée, il est l'œuvre de deux architectes persans et d'un

²⁵ G. Marçais, *L'Art musulman, op. cit.*, p. xxx.

²⁶ Voir Anne-Marie Loth, *Art de l'Inde : diversité et spiritualité*, Paris et Bruxelles, 1994.

certain nombre d'artistes venus eux aussi de Perse, et peut-être même d'Arabie et d'Italie. Parfaitement proportionné, l'édifice, octogonal, est recouvert d'un dôme de marbre blanc incrusté de pierres semi-précieuses. Tel un joyau dans un écrin, il est posé sur une terrasse encadrée par quatre minarets et entourée d'un jardin géométrique rafraîchi par des bassins et des fontaines que l'on traverse par une allée de marbre bordée de cyprès pour accéder au mausolée renfermant la sépulture en marbre blanc ciselé.

Les stupas bouddhistes

Les stupas, qui sont les monuments les plus importants et les plus répandus de tout le monde bouddhiste, prennent leur origine dans les tumulus funéraires des rois de l'époque préhistorique, réminiscence probable d'antiques cultes solaires. Construits sur une plate-forme entourée d'une balustrade, ce sont des ouvrages hémisphériques d'apparence massive, en pierre, que surmontent sept petites coupoles également en pierre. D'abord destinés à recueillir les cendres d'un saint homme dans un reliquaire situé au pied de leur dôme, les stupas pouvaient aussi renfermer des reliques ou des objets à caractère sacré ou magique ; plus tard, ils abritèrent des images du Bouddha. Empruntant à la cosmologie de l'Asie orientale, ils étaient censés représenter l'œuf du monde, assimilé à la voûte céleste. Le belvédère généralement carré placé à leur sommet symbolisait le séjour paradisiaque des trente-trois dieux, tandis que le mât qui les traversait verticalement indiquait l'axe du monde. Leurs petites coupoles superposées en forme de parapluie, les *chattras*, évoquaient la succession des cieux qui mènent à l'absolu transcendantal de Brahma. Quant à la clôture entourant le dôme et percée d'un portail aux quatre points cardinaux, il s'agissait d'une représentation de la course des étoiles autour de la montagne du monde.

Selon la tradition réservée à l'aristocratie, les cendres du Bouddha furent ensevelies dans plusieurs monuments de ce type, dont il ne reste aujourd'hui aucune trace. Après s'être converti au bouddhisme, le souverain Ashoka le Grand (vers 269 – 232 avant J.-C.) fit construire des milliers de monastères, 84 000 selon la légende, sur tout le territoire de l'Inde. Décidé à mettre un terme au culte des divinités anciennes, notamment des dieux védiques, ou à le récupérer au profit du bouddhisme, il fit dresser des stupas sur leurs anciens lieux de culte, ce qui eut pour conséquence d'instituer les reliques présumées du Bouddha qui y étaient insérées comme symboles à la fois de l'unité de l'empire et de la primauté du bouddhisme. De cette époque date le grand stupa de Sanci, près de Vidisa, qui devait être considérablement transformé par la suite. Constitué d'un dôme hémisphérique de 32 mètres de diamètre, il est posé sur une terrasse entourée d'une balustrade en pierre dans laquelle s'ouvrent quatre portails, eux aussi en pierre, où se concentre l'essentiel de l'ornementation. Entre le stupa et la clôture, un déambulatoire permet de circuler autour du monument. Au sommet du dôme se trouve un belvédère sur lequel repose un parallélépipède surmonté de trois petites coupoles en pierre.

Des stupas, l'influence bouddhiste s'est étendue aux temples. Celui de Mahabodhi, à Bodh-Gaya, est l'un des quatre lieux saints associés à la vie du Bouddha. L'empereur Ashoka le fit construire au bord du fleuve Niranjara, sur le lieu même où le Bouddha était parvenu à l'illumination et avait découvert la vérité sous l'arbre Bodhi. Détruit par les conquérants musulmans, le bâtiment d'origine fut remplacé par le temple actuel, qui date du V^e-VI^e siècle. Sur une plate-forme entourée d'une balustrade en pierre se dressent cinq monuments coniques : un petit à chaque angle et le plus haut au centre, abritant le trône de l'illumination du Bouddha. La clôture qui entoure l'arbre sacré date du I^{er} siècle avant J.-C.

Ce type de complexe s'est répandu avec de multiples variantes dans l'ensemble du monde bouddhiste, du Népal (Svayambhunatha, Bodhinatha) à Java (Borobudur, Candi Kalasan, Candi Sevu, Candi Mendut) et à la Birmanie. Le temple de Borobudur, conçu comme un gigantesque mandala, est un immense stupa à lui tout seul. Il est composé de cinq terrasses rectangulaires qui supportent de nombreux stupas mineurs et s'élèvent en pyramide jusqu'au grand stupa central, entouré de soixante-douze stupas de dimension plus modeste. Des

déambulatoires permettent de circuler entre les terrasses et d'accéder aux stupas tout en découvrant les frises où sont représentées des scènes de la vie du Bouddha. À Pagan, siège d'un petit État du Sud-Est asiatique fondé en 849 et devenu du XI^e au XIII^e siècle la capitale de la future Birmanie, il subsiste deux mille stupas et temples des quelque cinq mille ouvrages religieux édifiés à l'époque : réalisés en briques, ils mesurent de 4 à 50 mètres de hauteur.

La synthèse turque

Une première vague de tribus turques seldjoukides aborda l'Asie Mineure au début du XI^e siècle. À l'origine, les Seldjoukides étaient un peuple de pasteurs qui arpentaient les steppes de l'Asie centrale. Avant d'envahir l'Anatolie, ces tribus nomades avaient conquis l'Empire perse – dont les armées arabes avaient anéanti un siècle plus tôt les souverains sassanides –, mis en déroute les émirs bouyides et fondé leur capitale à Ispahan. C'est à des souverains seldjoukides que la Perse des X^e et XI^e siècles dut le rayonnement culturel d'Ispahan, que symbolise aujourd'hui encore la mosquée du Vendredi, reconstruite sous leur égide, et auquel sont associés les noms des poètes Omar Khayyam, Firdusi ou Nezami. La plupart de ces tribus conquérantes s'étaient converties à l'islam et certaines s'étaient sédentarisées. Vers l'est, elles avaient mené leurs razzias jusqu'à la frontière chinoise. Vers l'ouest, elles avaient envahi l'Arménie en 1064 et l'Anatolie en 1071. Elles s'étaient emparées de Bagdad dès 1055 et de Damas en 1078. En 1081, les Seldjoukides d'Asie Mineure se séparèrent de la branche perse et fondèrent le sultanat de Rum (ou d'Occident) en Anatolie.

Bien qu'encore nomades et peu urbanisés lorsqu'ils prirent possession de l'Anatolie, les Turcs disposaient d'un bagage culturel non négligeable, singulièrement dans le domaine architectural. De Perse, ils apportaient le modèle de la mosquée-kiosque, composée d'un bâtiment principal faisant fonction de salle de prière, surmonté d'une grande coupole et précédé d'une cour bordée de quatre iwans. À cela s'ajoutait une bonne connaissance de la construction en brique, car cette technique était celle des bâtisseurs syriens et arméniens à qui, comme tous les peuples nouveaux venus au Moyen-Orient, ils avaient confié leurs premiers édifices. Enfin, ils disposaient d'une référence du côté de la tradition byzantine, le chef-d'œuvre qu'était pour eux Sainte-Sophie. Dès l'origine de leur architecture, les Turcs seldjoukides cherchèrent donc à réaliser une synthèse de ces influences orientales et occidentales, perses, byzantines, arméniennes et syriennes. Il en résulta un style original qu'ils introduisirent dans les territoires occupés, que ce soit dans les bâtiments religieux ou dans les édifices civils, dans les caravansérails, les bazars ou les espaces domestiques. Peu à peu, la coupole devint le thème central de leur architecture. Dans les premiers temps de leur expansion, une sorte de superstructure conique parfois alvéolée était construite à l'emplacement du mihrab. Par la suite, contrairement aux canons de la tradition iranienne, l'espace de la cour fut lui aussi recouvert d'une coupole, probablement pour des raisons climatiques. La coupole avait été le principal mode de couverture de la mosquée seldjoukide, elle fut bientôt le seul.

En 1079, les Seldjoukides de Rum s'emparèrent de Jérusalem, créant l'émoi parmi la chrétienté et déclenchant ainsi la première croisade, entre 1096 et 1099. Seldjoukides, croisés et Byzantins s'affrontèrent jusqu'à la fin du XIII^e siècle, époque à laquelle les Mongols anéantirent l'empire de Rum après avoir soumis l'Empire perse. Conquérants redoutables, les Mongols étaient toutefois de piètres administrateurs. Les Ottomans – ou fils d'Osman –, l'une des tribus turques nomades qu'ils avaient chassées vers l'ouest, profitèrent du retrait de leurs troupes pour asservir les autres tribus turques, mettre la main sur les débris de l'Empire seldjoukide et repartir en lutte contre les Byzantins. Ils reprirent Brousse, dont ils firent leur capitale de 1326 à 1402, puis Nicée. En 1357, ils pénétraient sur le continent européen, où ils s'emparaient de Gallipoli. À la fin du XIV^e siècle, de nouvelles armées mongoles emmenées par Tamerlan envahirent l'empire des Ottomans, pillant Brousse.

Mehmed I^{er} les repoussa et c'est son petit-fils Mehmed II qui prit Constantinople en 1453. La progression turque était de nouveau en marche.

La première mosquée authentiquement ottomane est celle de Murad I^{er}, construite à Brousse en 1360. On peut y voir une ébauche de *kulillîé*, une véritable ville dans la ville qui représente une innovation essentielle de l'urbanisme turc. Cet ensemble urbain d'un nouveau type comprend de nombreux bâtiments sacrés et profanes à vocation charitable : mosquée, école de théologie, réfectoire des indigents, logements pour derviches et pèlerins, türbe et, plus tard, hôpital, école de médecine et asile d'aliénés. Son portique sur deux niveaux est inspiré du gothique byzantin – la tradition veut qu'il ait été conçu par un architecte d'origine chrétienne, peut-être italienne. La *kulillîé* de Bayazid Yildirm, commencée en 1390, également à Brousse, était semblable à la précédente, quoique plus somptueuse. Dans ces deux ensembles, les espaces centraux sont les seuls à être surmontés d'une coupole, unique, posée sur pendentifs.

La mosquée verte de Brousse – dite aussi le Türbe vert – a été construite pour Mehmed I^{er} en 1412, et sa décoration intérieure, achevée en 1424. Son plan est comparable à celui des deux mosquées précédentes, mais, cette fois, ce sont tous les espaces importants qui sont coiffés d'une coupole : c'est le cas de la salle de prière carrée, élément central de l'édifice, dont la coupole principale est doublée d'une seconde coupole, située sur le même axe, au-dessus du mihrab ; elle est flanquée de bas-côtés voûtés et l'on y accède par un portique à petites coupoles.

Dans toutes ces coupoles, la zone de transition est constituée de frises triangulaires formant une sorte de plissé, un motif qui reviendra fréquemment dans l'architecture turque. Ce type de frise, qui s'incline aux quatre angles du carré, puis s'efface progressivement le long du mur, permet d'obtenir un décor unique sur l'ensemble du tambour, tout en apportant une solution au problème géométrique posé par la transition entre le plan carré de la base et le plan circulaire de la coupole proprement dite. La continuité est extrêmement subtile, et il en résulte une meilleure intégration de la coupole à l'espace de la mosquée.

La *kulillîé* de Mehmed II fut construite à Istanbul peu après que ce dernier se fut emparé de la capitale byzantine. Occupant symboliquement l'emplacement de l'église des Saints-Apôtres, c'est une véritable université, avec ses madrasa, ses hôpitaux, ses restaurants populaires. À la coupole centrale est associée une demi-coupole située devant le mihrab ; toutes deux sont flanquées d'une file de coupoles qui couvrent les deux nefs latérales. Cette mosquée et celles qui lui ont succédé, notamment la mosquée du sultan Bayazid II (1501-1506), celle de Haseki Djami (1538), première œuvre de Sinan à Istanbul, et celle de Mihrimah Djami à Scutari (1547), également réalisée par Sinan, reprennent le modèle des mosquées de Brousse. Elles déclinent le thème de la relation entre le carré, omniprésent dans le plan horizontal, et le plan circulaire des coupoles, qui constituent l'unique mode de couverture de l'ensemble des édifices.

Le fils de Mehmed II, Soliman II, régna de 1494 à 1566 sur l'Empire ottoman, qu'il mena à son apogée, lui assurant une extension territoriale inégalée et la suprématie maritime en Méditerranée. Initiateur d'une nouvelle législation, c'était un organisateur et un administrateur hors pair. C'est sous son règne que l'architecte Sinan construisit la Süleymaniye, la mosquée de Soliman, l'un des ultimes chefs-d'œuvre de l'architecture sacrée ottomane. Au début du XVII^e siècle, son fils Selim commanda à Mehmed Aga, un disciple de Sinan, la mosquée du Sultan-Ahmed (1609-1616), qui devait être la dernière grande mosquée turque.

La mosquée Süleymaniye, Istanbul

L'œuvre majeure de l'architecte turc Sinan est sans aucun doute, parmi les quelque trois cents édifices qu'il a réalisés, la mosquée de Soliman à Istanbul, la Süleymaniye. Il fait peu de doute qu'avec ce monument Sinan a voulu – et Soliman encore davantage – relever le

défi de Sainte-Sophie. Néanmoins, si Sainte-Sophie avait été transformée en mosquée après la conquête turque, c'était bel et bien une basilique chrétienne, tandis que la Süleymaniye fut conçue dès l'origine comme un ensemble urbain complexe, une véritable ville dans la ville comprenant, outre une mosquée, deux mausolées, quatre écoles, un hôpital, un hôtel, une cuisine publique, un hammam, un caravansérail et de nombreuses petites boutiques. Cette seule description de l'ouvrage suffit à le différencier radicalement de son illustre prédécesseur. Pourtant, sa signification politique et religieuse n'est pas moins spécifique. Des documents datant de la construction évoquent la mosquée de Soliman comme un symbole du paradis et font référence au verset du Coran affirmant que « Dieu est la lumière du ciel et de la terre ». C'est dans des termes similaires que la mosquée est décrite dans une inscription figurant sur la tombe de Sinan. La référence au jardin de paradis, qui n'est pas nouvelle dans l'architecture islamique, confirme une différence de conception fondamentale entre la mosquée de Soliman et la vieille basilique justinienne. Alors que les auteurs de Sainte-Sophie avaient voulu faire œuvre d'architecture en construisant une représentation idéale de la Jérusalem céleste, issue d'une synthèse entre le temple romain circulaire et la basilique chrétienne, Sinan a bâti un modèle d'urbanisme répondant à des exigences à la fois politiques et sociales, « une œuvre à la mesure de l'univers », ainsi que l'écrivit son chroniqueur.

Tout, dans la construction, confirme le défi lancé à Justinien et vise à travers lui Salomon, l'homonyme du sultan. Les colonnes de granite, de marbre et de porphyre proviennent des différentes provinces de l'empire. Soliman a été jusqu'à faire prélever une colonne colossale sur le temple de Jupiter à Baalbek, que les croyances de l'époque associaient au palais de Salomon. La coupole est le mode de couverture unique de toutes les parties de l'ouvrage. La coupole centrale, posée sur des pendentifs, reposant eux-mêmes sur quatre gigantesques piliers. Deux demi-coupoles sont situées de part et d'autre. Quatre portails, surmontés eux aussi de petites coupoles, ouvrent la salle de prière sur la cour.

4. Occident

La coupole elle-même ne devient coupole que lorsqu'on avance.

Heinrich Wölfflin, *Renaissance et baroque*

Au rythme des échanges

Bien qu'inspirées des monuments antiques, les premières architectures chrétiennes d'Espagne, de Gaule et d'Italie ont été largement influencées par l'Orient. L'architecture romane offre de multiples exemples de cette filiation, comme ces portails d'églises du sud de la France qui évoquent les lointains iwans perses, ou ces clochers ronds qui font penser à des minarets. On trouve aussi, dans les cimetières chrétiens datant de la même époque, des monuments funéraires qui rappellent les mausolées romains tout en portant les traces d'une iconographie orientale ; de base circulaire, carrée ou octogonale, ils sont parfois surmontés d'une petite coupole ou d'une lanterne des morts, l'ancêtre du clocher. Ces premières voûtes de plan circulaire ont beau être extrêmement modestes, elles témoignent de la survivance d'une technique redécouverte par les architectes médiévaux. Ainsi que l'écrit l'historien Auguste Choisy, « l'art roman est celui d'une société qui renaît et qui puise au fond des vieilles civilisations qui l'entourent²⁷ ».

On a souvent attribué aux croisés, et en particulier aux Templiers, l'apparition en Occident de l'architecture à plan centré. Il est vrai que ces derniers, qui avaient installé leur palais sur l'esplanade du Temple de Jérusalem et reçu pour sanctuaire le Dôme du Rocher, rebaptisé pour l'occasion Temple du Seigneur, avaient édifié à Londres – et à Paris, où il est aujourd'hui détruit – un temple se présentant sous la forme d'une rotonde couverte d'une coupole soutenue par six piliers. On ne saurait pourtant affirmer que toutes les copies de monuments orientaux à plan centré qui ont fleuri dans l'Occident chrétien durant le Moyen Âge étaient l'œuvre des Templiers²⁸. On ne compte pas le nombre d'imitations du Saint-Sépulcre, parfois très éloignées de l'original, qui furent considérées à l'époque comme des représentations symboliquement tout à fait acceptables de l'Anastasis de Jérusalem.

Ce sont les clercs de Charlemagne qui ont le mieux compris la typologie des édifices orientaux à plan centré et œuvré le plus activement à sa diffusion à travers l'Occident. Véritables technocrates européens avant l'heure, ils ont défini un ambitieux programme de constructions civiles et religieuses, donnant le coup d'envoi de ce que les historiens appellent le renouveau carolingien : en moins d'un siècle, vingt-sept cathédrales, quatre cent dix-sept monastères, cent palais royaux sortirent de terre. Byzance leur fournit une grande part de leur inspiration. Charlemagne, s'étant fait décrire les monuments de la Rome orientale, envoya son architecte, Eudes de Metz, à Ravenne et lui fit rapporter d'Italie des colonnes et des marbres. La chapelle Palatine d'Aix-la-Chapelle, dont ce dernier est l'auteur, s'inspire de la basilique San Vitale. Cependant, si l'imitation était très certainement recherchée, la ressemblance reste très approximative pour ce qui est des matériaux utilisés et surtout des formes, la rotonde d'Aix-la-Chapelle étant octogonale. Comme l'explique en effet l'historien Richard Krautheimer, « on pourrait presque dire qu'aux yeux des hommes du Moyen Âge tout ce qui comptait plus de quatre côtés s'assimilait à un cercle²⁹ ».

Les infrastructures d'églises plus ou moins hémisphériques sont nombreuses au Moyen Âge et remontent aux origines de la chrétienté. Les cryptes – ces lieux « qui enracinent le sanctuaire dans la terre maternelle³⁰ », ainsi que les décrit Georges Duby – abritaient généralement le culte d'un saint ou d'un martyr, et un espace circulaire était ménagé autour de la tombe pour faciliter les pèlerinages.

²⁷ Auguste Choisy, *Histoire de l'architecture*, Paris, vol. 2, Paris, 1899, p. 202.

²⁸ Voir Élie Lambert, *L'Architecture des templiers*, Paris, 1978.

²⁹ Richard Krautheimer, *Introduction à une « iconographie de l'architecture médiévale »*, s. l., 1993, p. 13.

³⁰ Georges Duby, *Saint Bernard : l'art cistercien*, Paris, 1976, p. 46.

Ces constructions souterraines représentaient alors la première occasion d'expérimenter des voûtes circulaires. Un peu plus tard, à l'aube de l'ère médiévale, les bâtisseurs ont cherché à les faire sortir de terre afin de les substituer aux charpentes en bois des nefs, qui brûlaient trop facilement. Les baptistères comptèrent parmi leurs premières réussites. En ces temps d'éveil religieux, c'était là des ouvrages de première importance. Alors que le plan des nefs avait été emprunté aux basiliques romaines, celui des baptistères dérivait des mausolées antiques. Le baptistère des Orthodoxes et celui des Ariens à Ravenne, ceux du Latran à Rome, de Saint-Jean à Poitiers, de San Giovanni in Fonte à Naples, ceux de Pise, Crémone et Parme, pour ne citer que quelques exemples parmi les plus célèbres, trouvent tous leur origine dans le mausolée de Dioclétien à Split et dans celui de sainte Constance à Rome. Étrange relation que celle qu'entretiennent ces deux architectures, l'une liée à la mort et l'autre à la naissance. Comme le souligne Richard Krautheimer, « une équation mystique semble s'établir entre baptême, mort et résurrection³¹ ».

Les baptistères furent progressivement intégrés aux sanctuaires, mais les mausolées perdurèrent en tant que tels. La coutume religieuse voulait que les prières et les messes dites auprès d'un tombeau fussent favorables au repos de l'âme du défunt. C'est pourquoi oratoires, chapelles funéraires et mausolées dynastiques se multiplièrent pour épargner les tourments de l'enfer à leurs riches fondateurs. Les tombeaux étaient souvent surmontés d'un baldaquin, les édifices proprement dit d'une coupole. Ainsi, qu'il soit gisant, transi ou agenouillé, placé au centre de la rotonde ou à sa périphérie, le défunt se tenait face à la voûte céleste. On pourrait tracer une carte de l'Europe de ces monuments à plan centré. On y trouverait, entre autres, la chapelle funéraire de Richard Beauchamp dans l'église Sainte-Marie de Warwick en Angleterre ; en Espagne, la chapelle royale de Cordoue, la chapelle San Ildefonso, qui abrite le tombeau de Gil de Albornoz dans la cathédrale de Tolède, et le panthéon des rois à l'Escorial ; en Italie, la chapelle des Médicis à Florence et la chapelle funéraire de Ludovic le More et Béatrice d'Este dans l'église Santa Maria delle Grazie à Milan ; en Autriche, le monument funéraire de l'empereur Frédéric III dans la cathédrale de Vienne. En Allemagne, on peut citer le tombeau de l'empereur Henri II et de l'impératrice Cunégonde à Bamberg ; et en France, enfin, l'oratoire carolingien de Germigny-des-Prés, ainsi que la rotonde des Valois à l'abbaye de Saint-Denis, qui, bien qu'elle soit restée à l'état de projet, inspira Mansart et peut-être même Christopher Wren³².

Le mausolée de Galla Placidia, Ravenne

Au début du ^ve siècle, la cour impériale de l'Empire romain d'Occident, jusqu'alors installée à Milan, se déplaça à Ravenne pour se rapprocher de son allié d'Orient. La ville, de ce fait, se vite dotée d'un cadre monumental exceptionnel. Celui-ci devait être complété par le roi ostrogoth Théodoric, qui, s'étant emparé de Ravenne en 493, y fit construire le baptistère des Ariens, ainsi que son propre mausolée. À partir de 540, et tout au long des ^{vi}e et ^{vii}e siècles, l'empereur Justinien, puis ses successeurs poursuivirent cet effort en édifiant l'église Sant'Apollinare in Classe et le martyrium de San Vitale. Galla Placidia, la fille de l'empereur Théodose, tutrice de son fils Valentinien, empereur d'Occident, participa de façon décisive à cette fièvre bâtisseuse. De cette époque datent la transformation du baptistère des Orthodoxes attenant à la cathédrale et sa coupole richement décorée, la basilique Saint-Jean-l'Évangéliste et, surtout, le mausolée auquel on a donné le nom de l'impératrice, sans doute à tort.

Le plan du mausolée – a la forme d'une croix latine. L'édifice est en brique, selon un principe typiquement romain. D'aspect extérieur modeste, il présente un espace intérieur somptueusement décoré. Au centre, une tourelle carrée surmontée d'une charpente abrite une petite coupole hémisphérique. On accède au cœur de l'édifice par une voûte en berceau couverte de mosaïques. L'iconographie qui décore la coupole et les quatre bras du plan cruciforme préfigure celle que la Byzance justinienne portera à son apogée. La voûte de la coupole est constellée d'étoiles, au nombre

³¹ R. Krautheimer, *Introduction ...*, op. cit., p. 58.

³² Voir Jean Guillaume (dir.), *Demeures d'éternité : églises et chapelles funéraires aux ^{xv}e et ^{xvi}e siècles ; actes du colloque tenu à tours du 11 au 14 juin 1996*, Paris, 2005.

de huit cents très exactement. Il s'agit bien évidemment d'une représentation de la voûte céleste, au centre de laquelle se dresse une croix. Sur les pendentifs sont représentés les symboles les quatre évangélistes, tandis que huit apôtres sont regroupés deux par deux sur le tambour.

La basilique Saint-Marc, Venise

La basilique Saint-Marc constitue le principal témoignage du passage à l'Occident de l'église byzantine traditionnelle qui avait vu le jour dans la capitale constantinienne. Un premier sanctuaire avait été construit à Venise en 830 pour abriter les reliques de l'apôtre Marc, rapportées d'Alexandrie par deux marchands. Il était inspiré de l'église des Saints-Apôtres, édifiée entre 536 et 550 dans la Constantinople de Justinien et détruite en 1453 par les Turcs lorsque, après s'être emparés de la ville, ils bâtirent la mosquée de Mehmed II au même endroit. À l'instar des Saints-Apôtres, ce premier sanctuaire avait un plan en forme de croix grecque qui accentuait sa symétrie typiquement orientale autour d'un point central tout en offrant à la liturgie chrétienne un axe longitudinal le long duquel les fidèles pussent accomplir leur traditionnel parcours. Il était surmonté de cinq dômes probablement en bois, un au-dessus de chacun des bras de la croix et le cinquième au milieu. À la suite de l'incendie qui le ravagea en 976, l'édifice fut reconstruit à partir de 1063, en brique, sur le même emplacement et selon les mêmes principes. Une manière, pour les Vénitiens, d'affirmer les racines orientales de leur cité tout en manifestant leurs ambitions occidentales.

Les briques dont sont composées les cinq coupoles du nouvel ouvrage sont plus épaisses que celles des églises byzantines. En outre, elles sont assemblées de façon concentrique, selon un savoir-faire propre aux maçons du nord de l'Italie. Les coupoles, sur pendentifs, reposent sur des tambours circulaires percés de petites fenêtres qui laissent passer la lumière jusque sur les mosaïques intérieures. Sous ces voûtes très lumineuses, les espaces inférieurs revêtus de marbre demeurent dans la pénombre.

Les routes des coupoles

Les échanges de toute nature ont joué un rôle essentiel dans la découverte puis l'appropriation par l'Occident des cultures orientales. Pour en mesurer l'importance, Henri Focillon décrit un Moyen Âge à la fois sédentaire et nomade ; sédentaire par ses villes, ses États féodaux, ses monarchies, ses institutions monastiques, tous bâtis sur les débris de la civilisation romaine ; nomade par ses routes, ses chemins de pèlerinage, ses caravanes, ses croisades et le rythme incessant des activités commerciales³³. Cette dynamique, dont les Romains avaient tracé les grands axes et les Barbares amplifié le mouvement, eut pour conséquence une certaine « orientalisation » de l'Europe. Car, à l'aube du Moyen Âge, c'est en Orient que se trouvait le centre du monde civilisé, tandis qu'en Occident seules quelques vieilles villes romaines et hellénistiques conservaient des traditions urbaines affaiblies. Du Moyen-Orient était venu le christianisme ; Byzance était la capitale orientale de l'Empire romain ; Jérusalem, le lieu saint de deux et bientôt trois religions révélées ; l'Égypte, le lieu de naissance du monachisme ; Ctésiphon, la capitale déchue mais admirée de l'Empire sassanide ; Damas puis Bagdad, les foyers culturels, politiques et religieux de l'Empire musulman ; la Syrie et l'Arménie, les points de rencontre d'architectures aux savoir-faire millénaires.

Nombreuses étaient les routes entre l'Orient et l'Occident, et nombreux furent ceux qui les parcoururent. Cette mobilité eut des répercussions déterminantes sur l'architecture européenne, en particulier sur celle des coupoles, qui, si elles restèrent sans doute plus discrètes qu'en Orient, furent très présentes en Occident durant tout le Moyen Âge. Il est possible de déterminer la filiation de tel ou tel type de coupoles selon la technique utilisée pour réaliser leur zone de transition. Selon Auguste Choisy, le fait qu'elles soient bâties sur trompes ou sur pendentifs trahit une influence arabe ou byzantine, ce qui suppose une voie de pénétration différente jusqu'au cœur de l'Europe. Et même si ces influences doivent être interprétées avec précaution, dans la mesure où les spécificités et les

³³ Voir Henri Focillon, *Art d'Occident. Le Moyen âge roman et gothique*, Paris, 1938.

savoir-faire locaux ont aussi joué un rôle dans les choix techniques et stylistiques effectués par les constructeurs, on peut néanmoins suivre avec intérêt les chemins qu'elles ont probablement empruntés.

De Byzance provenait la coupole sur pendentifs. Après avoir traversé la Grèce et les Balkans – régions constellées de coupoles de ce type –, elle suivit la route du commerce avec l'Occident, passa par Venise, où la basilique Saint-Marc constitua un premier jalon, sans doute le plus flamboyant, puis progressa vers l'ouest, comme en témoigne l'architecture lombarde. C'est à Arles, grand carrefour d'échanges, qu'elle franchit le Rhône. La route longe ensuite la Garonne et rejoint l'Aquitaine : Moissac, Cahors, Périgueux, Angoulême sont des hauts lieux de ce type d'architecture. De La Rochelle, elle prend la mer jusqu'à la Bretagne et l'Angleterre, tandis que la route terrestre passe par Limoges, Solignac et l'abbaye de Fontevraud.

De Perse, du Moyen-Orient et d'Arménie provient la coupole sur trompes. Elle aurait suivi la route de l'étain, un métal prisé des sociétés arabes et orientales, qui le recherchaient notamment pour la fabrication du bronze³⁴. Cette deuxième voie empruntait la vallée du Rhône, puis celle de la Loire. Provence, Bourgogne, Auvergne sont effectivement des régions où l'on trouve de nombreuses coupoles sur trompes. Celles qui couvrent le transept de l'église de Saint-Nectaire, par exemple, rappellent certaines mosquées d'Afrique du Nord.

L'autre grande route des coupoles occidentales est celle qui mène vers le nord. Elle remonte le long des fleuves qui se jettent dans la mer Noire, dans la Caspienne et la Baltique : le Danube, le Don, le Dniestr, la Volga et la Vistule. On trouve en Roumanie, en Moldavie et dans toute la vallée du bas Danube des coupoles sur pendentifs de type byzantin. Après avoir parcouru l'ensemble des territoires slaves, la route se poursuit jusqu'aux pays scandinaves – où il existe quelques églises à plan centré –, avant de bifurquer vers l'Angleterre, la Normandie et l'Irlande. Avec leurs bulbes dorés – dont les courbes étaient probablement destinées à empêcher une surcharge de neige – et leurs hauts tambours, ces coupoles ont marqué de leur silhouette l'architecture baroque de la Russie, puis, au-delà, d'une grande partie du monde occidental. Inspirées de l'architecture byzantine et, plus encore, arménienne, les premières églises russes surmontées de coupoles datent de la christianisation de la région de Kiev par des moines byzantins, à partir du XI^e siècle. Sainte-Sophie de Kiev, bâtie en 1037, est une des premières à apparaître sur ce parcours septentrional. Elle est en brique et ses cinq nefs sont coiffées d'une grande coupole centrale entourée de quatre coupoles plus basses. Les églises à coupoles se sont ensuite développées à Vladimir lorsque la capitale y fut transférée, au XII^e siècle, et qu'y furent érigées la cathédrale de la Dormition, l'église de l'Intercession et la cathédrale Dimitri, ainsi qu'à Novgorod, qui fut une république indépendante jusqu'en 1478. Peu à peu, les coupoles à bulbe sont devenues l'emblème incontournable des villes, villages et monastères russes. À Moscou même, les coupoles du Kremlin, reconnaissables à leurs hauts tambours et à leur polychromie, la cathédrale de la Dormition (1479), la cathédrale de l'Archange-Saint-Michel (1505) et la cathédrale Saint-Basile (1555-1561) sont des réalisations plus tardives.

Les églises arméniennes

La spécificité des églises arméniennes est à l'image de cette région, harcelée autant qu'influencée par les grands empires qui l'ont convoitée, ont tenté de la convertir à leur foi et l'ont régulièrement dépecée. Dans ces conditions, quelle est l'origine des petites églises à plan carré surmontées de coupoles sur trompes qui ont fleuri dans cette région dès le IV^e siècle ? Ont-elles été bâties sur le modèle des premiers martyriums et baptistères chrétiens, eux-mêmes inspirés des monuments funéraires romains ? Sont-elles imitées des tours du feu perses ? Ou des habitations rurales autochtones à la couverture, ou *erdik*, plus ou moins en forme de dôme ? Faut-il y voir une adaptation aux techniques locales du principe des sanctuaires syriens à plan centré ? Nul doute que ces influences ont toutes dû jouer un rôle. Les particularités de la région, isolée, difficile d'accès et

³⁴ Voir A. Choisy, *Histoire de l'architecture*, op. cit.

néanmoins régulièrement occupée, font qu'après avoir puisé à ces nombreuses sources l'architecture arménienne a, à son tour, fortement influencé les bâtisseurs chrétiens et musulmans.

Les Arméniens étaient des maçons hors pair. Grâce à un procédé de leur invention, consistant à couler une sorte de béton entre deux murs en pierre, leurs ouvrages, dont les façades extérieures et les murs intérieurs présentent des parements d'une grande qualité, résistent bien aux séismes auxquels ils sont régulièrement soumis. Ce sont des bâtiments massifs, de plan centré et cruciforme, relativement petits et fermés sur eux-mêmes, dont les appareillages de pierre, généralement du tuf volcanique facile à travailler, sont d'une qualité remarquable.

Toutes ces caractéristiques, en particulier les murs massifs qui reprennent bien les poussées horizontales et verticales, ont eu pour conséquence de faciliter la construction des coupoles. Du fait des angles que présentent leurs courbures, et qui les apparentent à des cônes, l'appareillage en encorbellement s'est trouvé simplifié et il a été possible d'éviter le recours au cintre. La plupart de ces coupoles reposent sur des pendentifs de type byzantin, et quelques-unes sur des trompes de type persan. À partir du ^x^e siècle, leurs voûtes ont été renforcées par un réseau de nervures comparable à celui que l'on peut observer à la Grande Mosquée de Cordoue.

Les églises à file de coupoles, Aquitaine

De 1110 à 1140, soit un laps de temps relativement court, une soixantaine d'églises à file de coupoles ont été bâties dans le quart sud-ouest de la France. Ces églises romanes, dont Auguste Choisy écrit qu'elles « admettent les formes byzantines », sont généralement considérées comme étant d'inspiration orientale. Les premières coupoles de ce type apparaissent dès 1110 à Saint-Astier, dans la cathédrale de Cahors, dans les abbayes de Souillac et de Solignac et dans la travée occidentale de la cathédrale de Périgueux. Celles de la cathédrale d'Angoulême, commencée elle aussi vers 1110, sont parmi les plus anciennes ; elles ont inspiré le voûtement à quatre coupoles de l'abbaye de Fontevraud. Quant à l'église Notre-Dame de Loches, aujourd'hui collégiale Saint-Ours, elle possède des coupoles pyramidales qui « rappellent les dômes seldjoukides³⁵ ».

La plupart de ces coupoles ont été tellement malmenées au ^{xix}^e siècle par des architectes qui confondaient restauration et pittoresque douteux – et plus particulièrement l'un d'entre eux, Paul Abadie, architecte de la basilique du Sacré-Cœur de Montmartre – qu'elles ont perdu beaucoup de leur authenticité. Elles constituent néanmoins un ensemble géographique intéressant, dont l'origine est souvent expliquée par les relations que les villes du Sud-Ouest aquitain entretenaient avec Venise. Les influences byzantines sont effectivement possibles, quoique les coupoles relevant de cette tradition aient été bâties en brique, alors que les églises d'Aquitaine, dont la réalisation a mobilisé des savoir-faire locaux, l'ont été en pierre. Il ne fait pourtant aucun doute que Saint-Front de Périgueux est inspirée de la basilique Saint-Marc, elle-même imitée de l'église des Saints-Apôtres, construite par Justinien à Constantinople. De même que son original vénitien, Saint-Front présente le plan cruciforme caractéristique des martyriums. Comme à Saint-Marc, les quatre bras du sanctuaire et le transept sont recouverts de cinq coupoles à pendentifs posées sur des piliers évidés. Contrairement au modèle vénitien, en revanche, aucune représentation iconographique n'apparaît dans la décoration intérieure.

L'église « ad quadratum »

La quadrature du cercle est une question qui a littéralement obsédé le Moyen Âge. L'alchimie y voyait l'accomplissement de son grand œuvre, le passage du carré au cercle étant une analogie géométrique de la transmutation des métaux et, au-delà, de la transfiguration de l'homme. Les mythes et les symboles médiévaux sont imprégnés de cette image. Il suffit pour s'en convaincre de penser à la coupe du Saint-Graal, figure suprême de

³⁵ *Ibid.*, p. 160.

toute cette époque, que Perceval aperçut dans le château carré du Roi Pêcheur. Dans la tradition médiévale, la coupe dans laquelle Joseph d'Arimatee recueillit le sang du Christ et, par extension, le calice de la messe sont assimilés à un cœur. Il faut évidemment relier cette croyance au geste du prêtre qui, au centre de l'église, mélange le vin à l'eau pour le transformer en sang du Christ. Si l'on se souvient de l'origine étymologique du mot « coupole », issu *in fine* du mot latin *cupa*, qui signifie « coupe », on mesure l'importance symbolique de l'ouvrage dans la culture d'alors.

La géométrie en général, et plus particulièrement les relations entre le cercle et le carré, sont très présentes dans l'architecture médiévale. Cryptes, baptistères, chapelles votives ou funéraires, mais aussi enceintes de villes, tours, châteaux forts, donjons et rosaces, reflètent cette présence à différentes échelles. La dialectique du cercle et du carré se retrouve jusque dans les détails les plus infimes. Ainsi, la première pierre posée dans les fondations d'une église, celle-là même qui était bénie par l'évêque, a toujours été cubique, sorte de répondant symbolique de la voûte à venir. Sans entrer dans la complexité de la numérogie médiévale, rappelons que le cercle représentait la vertu et la gloire de l'Église et que le nombre qui lui correspond, le douze, était celui des Apôtres et du peuple de Dieu. Le carré, pour sa part, symbolisait le Christ sauveur de l'humanité : le nombre quatre était celui de l'ensemble des vivants, le huit celui de la Résurrection. Le cercle inscrit dans le carré exploitait cette symbolique pour décrire la relation de dépendance qui existait au Moyen Âge entre la terre et le ciel. Ainsi, les douze colonnes et les huit piliers qui soutiennent la coupole du Saint-Sépulcre de Jérusalem étaient une allusion aux Apôtres répandant l'Évangile sur la terre.

Les moines érudits, familiers des fondements géométriques de la pensée de Platon et de Pythagore, connaissaient également Vitruve et sa référence à l'homme inséré dans un cercle et dans un carré. Ils ont aussi puisé une bonne part de leur inspiration géométrique dans la Bible : dans le livre des Rois, où il est indiqué que le Temple de Salomon est construit sur la base d'un triple carré et que l'arche d'alliance est enfermée dans un sanctuaire cubique ; ou dans l'Apocalypse, où la Jérusalem céleste apparaît comme un cube percé de douze portes regroupées trois par trois à chacun des quatre points cardinaux.

La cosmogonie médiévale contient de nombreuses références à un monde céleste circulaire. Selon Hildegarde de Bingen, l'univers est formé de six cercles concentriques. Le cercle extérieur représente le firmament et indique les quatre points d'où soufflent les douze vents principaux, eux aussi regroupés par trois. L'avant-dernier cercle est celui de l'« air subtil », le dernier, celui de la terre. Face à ce macrocosme, l'homme est inscrit dans un carré. Les pieds joints et les bras étendus, dans la position du Christ en croix, il se décompose en cinq carrés verticaux et cinq horizontaux. Le carré central est celui de sa poitrine et de son cœur. Au temple carré de la Bible correspond l'homme carré de Sainte Hildegarde. L'église médiévale, représentation terrestre de la Jérusalem céleste, est tracée selon cette image : au corps de l'homme correspond la nef, à ses bras, le transept, à sa tête, l'abside. À la croisée de la nef et du transept se trouve l'autel de la transmutation du terrestre au divin, le cœur du sanctuaire, le lieu où se rejoignent le carré et la coupe du sacrement. Sous cette analogie se cache l'image universelle du cercle traversé par les deux axes cardinaux. On reconnaît là les suites des vieux débats byzantins sur l'iconoclasme, l'image du Christ-Homme étant transcendée et cachée dans le plan de l'église. Alors que l'église visible devait être bâtie *ad quadratum*, au carré, sa relation avec le monde céleste était dissimulée dans la présence plus secrète du cercle. Le carré domine dans les tracés des plans et des façades. S'il est uni au cercle, c'est grâce aux coupoles, aux lanternes, aux tours et aux clochers qui, en marquant la croisée du transept, accentuent l'importance du parcours que le croyant doit accomplir pour atteindre, au propre comme au figuré, le cœur même de l'église.

L'architecture gothique ne possède qu'un petit nombre de coupoles. Certes, Viollet-le-Duc a voulu démontrer qu'il existait une continuité entre les coupoles romanes et les voûtes gothiques. Lorsqu'il compare les voûtes gothiques à des coupoles « avec plis aux retombées », l'image est séduisante, même si elle a été condamnée par les historiens. Pourtant, lorsqu'on observe les voûtes à plan circulaire de certaines cathédrales espagnoles à la charnière entre roman et gothique, celles de Salamanque ou de Zamora, par exemple, on y retrouve des principes de construction et de géométrie

qui sont clairement ceux des coupoles. Les coupoles bulbeuses dont elles sont dotées sont de curieux hybrides des modèles d'Orient et d'Occident.

Il existe une contradiction apparente entre la volonté gothique de cohérence formelle et de continuité lumineuse et la notion d'espace centré et intériorisé qui s'attache à la coupole. La cathédrale gothique réalise pourtant « un équilibre inégalé entre le plan basilical et le plan centré³⁶ ». À Reims et à Paris, le transept disparaît, le chœur s'agrandit. À Chartres et à Amiens, la croisée du transept est située presque au centre de l'édifice. L'église-halle de tradition germanique pousse plus loin encore cette recherche d'ouverture, de verticalité unificatrice et de centralité. Cette impression est renforcée par l'adoption de la voûte d'ogives, dont l'unité rompt avec la diversité des voûtes romanes. La nef, les collatéraux, le transept, le déambulatoire, sont réunis au sein d'un même ensemble géométrique. Tous les éléments qui ne concourent pas à cette unité sont rejetés en dehors de l'espace central. Les arcs-boutants, que les moines clunisiens avaient utilisé dès le XII^e siècle, quand les premières voûtes ogivales de leur abbaye menaçaient de s'effondrer, sont repoussés à l'extérieur, ce qui contribue à unifier l'espace intérieur. La structure de l'édifice n'en est que plus lisible sur les façades.

Comment les bâtisseurs gothiques s'y sont-ils pris pour introduire le cercle et la relation qu'il entretient avec le carré dans cette synthèse spatiale dominée par une géométrie complexe ? La solution qu'ils ont retenue apparaît particulièrement subtile. La grande préoccupation de leurs prédécesseurs avait été de voûter une nef voulue toujours plus large, toujours plus haute, et d'y faire pénétrer la lumière. Cette tâche, les bâtisseurs gothiques l'ont reprise à leur compte. Pourtant, la place qu'ils accordent à la lumière dans leurs cathédrales n'est pas la même que celle des églises romanes. Dans les deux cas, la nef représente la barque de saint Pierre. Elle est le lieu où les croyants, délaissant les ténèbres, s'abritent sous l'aile de la foi et aperçoivent Dieu au bout du chemin, ce Dieu qui, selon les Écritures, habite une « lumière inviolable ». Les architectes romans avaient réservé cette lumière pour la croisée du transept, la laissant pénétrer par les ouvertures situées à la base de la coupole, de la lanterne ou de la tour. La nef pouvait demeurer dans la pénombre. Du portail à la lumière, les églises clunisiennes imposent un long cheminement au travers d'éléments architecturaux bien différenciés : la cour, le narthex, la nef principale et les collatéraux, le transept et, au-delà, l'abside. Dans la cathédrale gothique, au contraire, la lumière envahit tout l'espace du sanctuaire. Le centre de l'édifice et le parcours que l'on effectue pour y accéder sont unis dans un même espace, dans une même lumière. L'espace de Notre-Dame de Paris n'est rythmé que par trois éléments : la façade ouest avec ses tours, le centre et le chevet. Évoquant le chevet de Saint-Denis, l'abbé Suger parlait de *lux continua*. *Ce qui rayonne ici dedans*, avait-il fait graver sur le porche de l'abbaye. De toute évidence, c'est dans le rayonnement intérieur de l'espace gothique que réside la filiation des cathédrales avec la tradition des édifices à plan centré.

Cette cohérence fait de la cathédrale gothique un monument de logique. Pour concevoir et réaliser un ouvrage d'une telle complexité, il a fallu, en l'absence de textes imprimés et de plans cotés, avoir recours à un ensemble de règles géométriques. On a beaucoup glosé sur l'initiation des compagnons, fruit de l'amour présumé des maîtres d'œuvre médiévaux pour un ésotérisme hérité de la nuit des temps. En réalité, ce langage géométrique a surtout été l'indispensable moyen de communication entre des constructeurs dont les chantiers s'évalaient sur plusieurs dizaines d'années, quand ils n'étaient pas interrompus par les chapitres en mal d'argent. Cette géométrie devait être facile à visualiser, à mémoriser, à transmettre et à reproduire. Elle devait permettre de dessiner avec précision les arcs de cercle et les angles droits, les arcs brisés, les carrés et les doubles carrés. Aussi, compte tenu de la symbolique géométrique qui s'attache à l'église, on ne s'étonnera pas que le plan des cathédrales ait été conçu suivant un réseau de carrés, de doubles carrés et de pentagones réguliers. Les sections harmoniques, diagonales du carré et du double carré, y sont omniprésentes. Ces proportions assurent une correspondance géométrique entre le plan horizontal, dont le pôle rayonnant est le grand autel, et la coupe verticale dans laquelle s'inscrit la rosace. Seul élément circulaire visible de cet univers vertical, celle-ci réunit la lumière de Dieu de par sa fonction, la

³⁶ Erwin Panofsky, *Architecture gothique et pensée scolastique*, Paris, 1951, p. 103.

féminité de la Vierge de par son nom et le cycle cosmique de par sa forme³⁷. En éclairant de son ouverture circulaire la nef dessinée *ad quadratum*, elle rend perceptible au sein même de la cathédrale la dualité entre le cercle céleste qu'elle dessine et l'homme carré hildegardien qu'elle illumine.

La rotonde de l'Anastasis, Saint-Sépulcre, Jérusalem

Lorsque l'empereur Constantin institua la religion chrétienne comme religion d'État, en 313, et fonda la ville de Constantinople en 330, il lança un important programme de construction d'églises. À Rome, il fit bâtir l'église Saint-Jean-du-Latran, siège de l'évêché, ainsi que la première basilique Saint-Pierre. En Terre sainte, il érigea une basilique au-dessus des deux grottes emblématiques du début et de la fin de la vie du Christ. L'église de Bethléem protégeait de son dôme octogonal la grotte supposée de la Nativité, tandis que celle du Saint-Sépulcre, à Jérusalem, était située sur l'emplacement même du tombeau du Christ, au-dessus duquel devait s'élever plus tard la rotonde de l'Anastasis ou de la Résurrection. Conçues selon un plan basilical emprunté aux édifices romains abritant les activités commerciales et judiciaires, ces églises comportaient, à l'extrémité de leur nef, une rotonde surmontée d'une coupole qui marquait le lieu exact de l'événement ayant motivé leur fondation.

L'importance de l'Anastasis tient à sa localisation : située à Jérusalem, au centre du monde chrétien, elle était immensément symbolique. Érigée après le règne de Constantin, peut-être à l'imitation du mausolée que Dioclétien s'était fait édifier à Salone, l'actuel Split, c'était le martyrium suprême, l'*omphalos* de la chrétienté, le baldaquin protégeant la grotte de la Résurrection. La coupole dont elle était coiffée devint un emblème reproduit plus ou moins fidèlement dans tout l'Occident. On ne sait malheureusement rien de l'aspect original du monument ni de son mode de construction, car il fut brûlé par les Perses en 614. Il est probable qu'il comportait un dôme composé d'une double charpente en bois, lequel, lorsqu'il fut reconstruit par les croisés en 616-618, fut remplacé par un ouvrage conique, également en bois. La coupole actuelle date de 1863.

Le centre de l'univers

Jusqu'à la Renaissance italienne, la plupart des représentations célestes qui ornaient l'intérieur des coupoles étaient inspirées de thèmes anciens mêlant astronomie et mythologie. Au xv^e siècle, en revanche, les peintres qui exécutèrent le décor des coupoles de l'ancienne sacristie de San Lorenzo et de la chapelle des Pazzi y reproduirent le firmament tel qu'il apparaissait à l'époque dans le ciel de Florence. Cette attitude nouvelle traduit la volonté des artistes de la Renaissance de rationaliser la perception de l'espace³⁸. C'est parce qu'ils s'intéressaient aux recherches scientifiques et mathématiques de leur temps, notamment aux travaux sur l'optique, qu'ils avaient pu élaborer les principes fondateurs de la perspective. La notion moderne d'infini qui en était issue, jusqu'alors inconcevable en dehors d'une référence à la divinité, renouvela la signification de la notion de centre. L'infini, matérialisé par le point de fuite, civilisé par la perspective, prit une valeur à la fois scientifique et humaine. Tout point peut être considéré comme le centre de l'univers, déclarait le théologien Nicolas de Cues³⁹. L'espace, dégagé de sa nature divine, devint, selon l'expression de Giordano Bruno, « la dynamique infinie de l'âme universelle⁴⁰ ».

Cette vision de l'univers imposait une logique différente, fondée sur un traitement plus géométrique de l'espace architectural. Encore fallait-il lui donner une base théorique qui n'existait ni dans l'Antiquité – excepté chez Vitruve –, ni dans le monde islamique, et encore moins au Moyen Âge. Jusque alors, seuls les textes sacrés avaient tenu lieu de référence. Leon Battista Alberti fut le premier à codifier un langage de l'architecture. Dans son ouvrage *De re aedificatoria* (1485), il fit

³⁷ Voir Georges Duby, *Le Temps des cathédrales : l'art et la société, 980-1420*, Paris, 1976.

³⁸ Voir Erwin Panofsky, *La Perspective comme forme symbolique*, Paris, 1932.

³⁹ *Ibid.*, p. 58.

⁴⁰ Cité *ibid.*, p. 158.

appel à l'archéologie antique et à Vitruve pour démontrer l'existence de règles universelles obéissant à un système numérique d'inspiration pythagoricienne. La beauté, qu'il appelle harmonie, répond selon lui à des lois précises, car elle « agit sur la nature tout entière⁴¹ » et ne peut être le fruit du hasard ou du goût personnel. On est loin ici des cathédrales gothiques, ces organismes vivants qui ne cessent d'évoluer. Pour Alberti, c'est la perfection des formes qui, par son universalité, confère à l'art son caractère divin. Le cercle et le carré, figures géométriques fondamentales, occupent une place de choix dans sa théorie, où le cercle est présenté comme « la forme la plus parfaite et donc la plus divine ». Dante, dans *La Divine Comédie*, l'avait affirmé à sa façon en parcourant les cercles de l'Enfer. Dans ce contexte, il n'est pas surprenant que la coupole hémisphérique, forme géométrique « divine », ait été la figure emblématique de l'architecture de la Renaissance.

Brunelleschi fut le premier à montrer la voie. C'est à lui que l'on doit la vision géométrique moderne de la coupole occidentale, mais aussi une mise en œuvre renouvelée, bien que toujours inspirée des savoir-faire gothiques et des techniques romaines. La coupole de la cathédrale Santa Maria del Fiore, à Florence, qu'il conçut en 1418 et dont la réalisation s'étendit de 1420 à 1436, date à laquelle elle fut consacrée, a constitué une solution de référence, directe ou indirecte, pour l'immense majorité des architectes qui allaient lui succéder. Si l'on en croit Quatremère de Quincy, qui lui consacra un essai en 1839, Michel-Ange disait de la coupole de Santa Maria del Fiore qu'il était difficile de l'imiter, impossible de la surpasser. La sacristie de San Lorenzo, conçue en 1422 et achevée en 1428, est un bâtiment relativement autonome par rapport à l'église paroissiale des Médicis, dont elle dépend et qui ne fut mise en chantier qu'en 1425. L'espace central est couvert d'une coupole hémisphérique nervurée et côtelée qui repose sur quatre pendentifs. Les proportions mathématiques du monument sont soulignées par ses éléments structurels et décoratifs. Colonnes, pilastres, corniches sont inspirés de l'Antiquité. Sculptés dans la *pietra serena*, une pierre naturellement sombre, ils se détachent sur le fond clair des murs enduits de blanc, formant une composition géométrique aux proportions harmonieuses qui obéit au célèbre principe d'Alberti selon lequel « rien ne peut être ajouté, ni ôté, ni modifié, sinon pour le pire ». En 1429-1430, Brunelleschi commença les travaux de la chapelle des Pazzi. La coupole, édifée en 1461, est une copie assez fidèle de celle de la vieille sacristie de San Lorenzo réalisée près de trente ans plus tôt. Contrairement à la première, cependant, elle bénéficie d'une mise en perspective exceptionnelle grâce à sa situation dans les jardins de Santa Croce, où elle est en recul par rapport à l'église.

Brunelleschi a joué un rôle essentiel dans l'histoire de la Renaissance, faisant de la coupole une des formes de prédilection de la période. Au début du xv^e siècle, tirant ses conclusions des réflexions théoriques d'Alberti, des expériences pratiques de Brunelleschi et, surtout, des formes de l'Antiquité, Bramante précisa les règles du langage architectural de l'époque classique. Ses successeurs – Serlio, Palladio, De l'Orme, etc. – les interpréteront dans leurs écrits et les diffuseront dans toute l'Europe. En 1502, Bramante construisit un « tempietto » dans la cour du monastère San Pietro in Montorio à Rome, sur l'emplacement supposé du martyr de saint Pierre. Le sanctuaire est vraisemblablement inspiré du temple romain de Vesta situé sur les rives du Tibre, mais Bramante interprète son modèle de façon originale sur le thème du martyrium constantinien. Il le recouvre d'une coupole parfaitement hémisphérique qu'il pose sur un cylindre inscrit dans un cube. L'ensemble est situé au centre d'un petit cloître à plan carré d'une grande simplicité de proportions. Ce petit sanctuaire, sans doute le plus classique et le plus renommé de toute la Renaissance italienne, contient en germe le projet pour Saint-Pierre que Bramante proposera à Jules II trois ans plus tard.

Les coupoles de Brunelleschi et de Bramante constituent les deux modèles dont découlent plus ou moins directement toutes les coupoles occidentales de l'époque classique. Ce sont elles qui ont inspiré une bonne partie des œuvres de Palladio – l'église du Redentore à Venise (1577) – et de Vignole – l'église du Gesù à Rome (commencée en 1568) –, ainsi que la coupole de la Sorbonne (1635) de Lemercier et celle du Collège des Quatre-Nations (1667) de Le Vau à Paris, la cathédrale Saint-Paul (1710) de Christopher Wren à Londres, le Panthéon parisien (1790) de Soufflot, le

⁴¹ Leon Battista Alberti, *L'Art d'édifier*, Paris, 2004, p. 440.

Capitole de Washington (1863), et des dizaines d'autres bâtiments qui ont symbolisé tour à tour la puissance de l'Église, celle des princes de ce monde et enfin l'éveil des démocraties modernes.

La coupole de la cathédrale Santa Maria del Fiore, Florence

C'est à Arnolfo di Cambio que revint, en 1296, la conception initiale de Santa Maria del Fiore, la cathédrale de Florence. Un siècle plus tard, le tambour octogonal de plus de 40 mètres de diamètre qui devait soutenir la coupole à une hauteur de 51 mètres n'était toujours pas recouvert ; pour mémoire, rappelons que la coupole du Panthéon romain a un diamètre de 43,20 m à sa base. Aussi les fabriciens de la cathédrale s'interrogeaient-ils sur la solution qui leur permettrait de réaliser un ouvrage aussi gigantesque. En 1418, la question fit l'objet d'un concours, dont le lauréat fut Brunelleschi. La coupole qu'il proposa ne s'inscrivait pas dans une demi-sphère, comme celle qu'il avait conçue pour la sacristie de San Lorenzo. Il héritait d'un chantier en cours dont les contraintes lui interdisaient de choisir cette forme géométrique simple qu'il aurait sans doute préférée. S'inspirant à la fois des ruines romaines qu'il avait longuement arpentées et des techniques gothiques qu'il connaissait bien, il proposa de disposer huit nervures ogivales aux huit angles du tambour octogonal. Pour éviter le recours aux cintres, difficilement réalisables dans des dimensions pareilles, il procéda par couches successives en superposant des anneaux de maçonnerie, qui relient les nervures entre elles tout en les rigidifiant. Ainsi, chaque étape de la construction supportait son propre poids et constituait une base pour la suivante. Une double coque, externe et interne, assurait la liaison entre les nervures, contribuant à alléger l'armature. De plus, l'espace entre les deux enveloppes permettait aux ouvriers de circuler à couvert pendant le chantier et assurait leur approvisionnement dans de bonnes conditions de sécurité. La voûte fut couronnée par une lanterne, également dessinée par Brunelleschi en 1436, et qui ne fut achevée qu'après sa mort, en 1471.

Le chantier fit la stupéfaction mais aussi l'effroi de ses contemporains : dans la dédicace de son *De Pictura* (1435), Alberti la décrit comme « une structure dressée au-dessus des cieux si puissante qu'elle couvre de son ombre le peuple toscan tout entier⁴² ». Elle déclencha par ailleurs la fureur des corporations de maçons, qui obtinrent l'emprisonnement de l'architecte au motif qu'il n'avait pas payé sa cotisation. Celui-ci fit preuve de patience et de pédagogie pour expliquer inlassablement son projet, construisant des maquettes pour convaincre, inventant de nouvelles machines, veillant au chantier, installant un temps son logement sous la coupole en construction.

Éclatement

Dans son ouvrage *Renaissance et baroque* (1888), Heinrich Wölfflin écrit que « l'histoire de la coupole depuis Michel-Ange est essentiellement une histoire de changements de proportions ; dans l'organisation, rien ne change⁴³ ». Effectivement, la plupart des coupoles qui jalonnent le paysage de la ville occidentale depuis la Renaissance ont été construites selon des règles parfaitement codifiées : un socle à plan centré, un tambour de plan circulaire ou octogonal et une zone de transition assurée par des pendentifs généralement décorés de fresques ou de sculptures, une calotte à nervures dont le profil se rapproche le plus souvent de la parabole, une lanterne, enfin, par laquelle pénètre la lumière qui éclaire le sanctuaire et qui concentre au cœur même de l'édifice la clarté indissociable de la perfection divine exigée par Alberti.

L'ambiance intérieure recherchée au moyen des coupoles baroques n'avait cependant plus grand-chose à voir avec celle des églises de la Renaissance, à l'architecture statique et sereine. Les architectes ont tiré partie de l'ampleur et de la lumière nouvellement acquises afin de dramatiser l'espace et de le dynamiser. Le sentiment qui domine est celui d'un irrésistible mouvement ascendant dans un lieu chargé d'une inquiétude immobile. La nef et le fond des chapelles sont maintenues dans l'ombre, ce qui accentue l'impression de mystère. Les proportions, qui ne sont plus harmoniques,

⁴² *Id.*, *La Peinture*, Paris, 2004, p. 132.

⁴³ Heinrich Wölfflin, *Renaissance et baroque*, Paris, 1988, p. 132.

contribuent à tendre l'atmosphère. Elles ne visent plus la perfection, au contraire de celles des églises de la Renaissance. Les murs se courbent, les colonnes se torsadent, l'ensemble exprime la tension et l'instabilité. L'ovale se substitue au cercle, le carré laisse la place à l'oblong. La coupole, souvent ovoïde, devient le principal élément d'une mise en scène tourbillonnante. Elle est l'aboutissement d'un mouvement qui part du sol et dont l'effet d'élévation s'amplifie lorsqu'on s'approche du sommet. Elle s'élance, portée toujours plus haut par des tambours elliptiques. Segmentée par des nervures ajourées qui la dissolvent dans la lumière, elle est prolongée de façon vertigineuse par des lanternes qui s'envolent vers le ciel.

Plusieurs chefs-d'œuvre témoignent de ce phénomène de décomposition progressive de la coupole dans la lumière. Santa Maria della Salute, que Baldassare Longhena édifia à Venise à partir de 1631, renouvelle de façon spectaculaire la mise en scène de l'espace, inondé de lumière grâce aux tambours octogonaux de deux coupoles de taille différente, qui, au lieu de définir un centre, comme le fait une coupole unique, guident le visiteur le long d'un axe longitudinal. L'église romaine de San Carlo alle Quattro Fontane, dont Francesco Borromini entreprit les travaux en 1638, est surmontée d'une coupole ovale très lumineuse qui s'inscrit parfaitement au-dessus de son plan ondulant et semble se désolidariser de sa partie basse, plongée dans la pénombre. La coupole de Sant'Ivo alla Sapienza, autre chef-d'œuvre romain de Borromini, qui s'y attela en 1642, prolonge la dynamique ascensionnelle sur toute la hauteur de l'édifice, depuis les pilastres qui encadrent les chapelles jusqu'au sommet du lanterneau, qui se termine en spirale dans le paysage romain. La petite église Sant'Andrea al Quirinale, conçue en 1658 à Rome par Bernin, s'inscrit dans un espace ovale qui converge dans un vaste mouvement circulaire ascendant jusqu'à la statue du saint figé dans son apothéose. La chapelle du Saint-Suaire à Turin, réalisée à partir de 1667 par Guarino Guarini, est structurée par un enchevêtrement de nervures ouvertes sur la voûte céleste ; la coupole prend une apparence de cristal, diffusant une lumière fragmentée qui semble provenir d'innombrables étoiles. Comme pour faire oublier le rôle que Michel-Ange avait attribué à la coupole de la basilique Saint-Pierre, Bernin a placé au-dessus du maître-autel un baldaquin à colonnes torsées qui en redouble le symbole. De même, Hardouin-Mansart décline l'image de l'antique insigne impérial, qu'il fractionne au-dessus de la chapelle royale des Invalides en un baldaquin, deux coupoles et un dôme. La coupole, autrefois statique et souvent monolithique, éclatait ainsi en une multitude d'éléments, à l'instar de l'univers baroque tout entier, qui entraîna dans sa chute la production artistique du monde classique.

Bernin et Borromini

Dire que Borromini et Bernin s'entendaient mal est un euphémisme. En réalité, tout les opposait, et d'abord leur caractère. Le premier était torturé, « fanatique de son art », angoissé jusqu'au désespoir d'une mort tragique. Il mit fin à ses jours en se transperçant de son épée. Le second, courtisan cultivé, beau parleur et grand seigneur, était doté, selon l'historien Giulio Carlo Argan, d'une « imagination prompte et heureuse⁴⁴ ». Leur architecture fut le reflet de cet antagonisme et la rivalité qu'elle provoqua entre eux ne s'atténa pas avec le temps. Les deux hommes se croisèrent tout au long de leur vie, s'affrontant régulièrement, tant pour obtenir des commandes qu'à propos de leur vision de l'architecture. Autodidacte, Borromini commença sa vie professionnelle en 1614 comme tailleur de pierre. Il fit son apprentissage à la fabrique de Saint-Pierre, dont Bernin se vit offrir la direction par Urbain VIII en 1629. Bernin, qui était aussi un peintre et un sculpteur de génie, considérait son œuvre de façon globale, tous modes d'expression confondus, sous l'angle du style, de la perspective, du jeu des vides et des pleins, et selon un système de proportions calquées sur celles du corps humain. Borromini était avant tout architecte. Sa vision plus complexe de l'espace le poussait à envisageait des formes apparemment impossibles à construire, fondées sur de remarquables prouesses techniques que Bernin trouvait bizarres et qualifiait de chimères.

⁴⁴ Giulio Carlo Argan, *Borromini*, Paris, 1996, p. 12.

Quatremère de Quincy dit de lui qu'il ne fit autre chose que de renverser tout le système d'architecture grecque⁴⁵.

À partir de 1642, Francesco Borromini entreprit de construire l'église Sant'Ivo alla Sapienza à Rome. Les travaux se poursuivirent pendant près de vingt ans. Le sanctuaire est situé dans la cour à portiques de l'université La Sapienza. La coupole, surmontée d'une lanterne, est destinée à renforcer l'ordonnance axiale et la perspective de l'ensemble. La construction de l'édifice et de sa coupole constitue une prouesse technique sans précédent. Le plan, d'une grande complexité, s'appuie sur une trame hexagonale qui trace trois absides convexes abritant des chapelles, tandis que des pilastres accentuent l'importance des angles aigus. Cette complexité se dissout dans la lumière au fur et à mesure que l'on remonte vers la coupole. Celle-ci est composée de six nervures qui prennent appui sur un entablement très saillant, rétrécissent progressivement et se poursuivent en colimaçon à l'extérieur du bâtiment, jusqu'en haut de la lanterne.

Bernin procédait autrement. Les trois petites églises qu'il a réalisées parallèlement à son projet pour la place de Saint-Pierre illustrent bien sa démarche. Sur la première, construite à Castel Gandolfo entre 1658 et 1661, il pose « un élégant dôme qui, à l'évidence, dérive de celui de Saint-Pierre⁴⁶ ». L'édifice est inspiré de différents modèles traditionnels que l'architecte assemble à sa manière. Ainsi, le plan est centré, en forme de croix latine, tandis que la voûte est composée de nervures et de caissons. L'église Sant'Andrea al Quirinale, bâtie entre 1658 et 1670, met en scène l'ascension de saint André après son martyre. Ni le plan ovale ni la coupole qui coiffe l'ensemble ne représentent de véritables prouesses, mais l'organisation de l'espace intérieur et la fluidité qui en résulte sont uniques. La voûte blanc et or est brillamment éclairée par le lanternon et par les fenêtres situées entre les nervures, tandis que l'intérieur de l'église demeure dans l'ombre. Lumière, couleurs, matériaux et points de fuite : tout concourt à accentuer le caractère dramatique de la scène. Pour l'église Santa Maria dell'Assunzione d'Ariccia, qu'il construisit de 1662 à 1664, Bernin s'inspira du Panthéon, auquel il emprunta ses formes géométriques simples. Une coupole aux lignes pures est posée sur un socle cylindrique, lui-même précédé d'un portique et encadré par deux petits palais dont les façades concaves accompagnent celle de l'église. Une fois de plus, Bernin interprète des références issues de l'Antiquité ou de la Renaissance pour produire un chef-d'œuvre d'architecture classique.

⁴⁵ Voir Jean Castex, *Renaissance baroque et classicisme : histoire de l'architecture, 1420-1720*, Paris, 1990.

⁴⁶ Rudolf Wittkower, *Art et architecture en Italie : 1600-1750*, Paris, 1991, p. 191.

5. Pouvoir

La salle d'audience et les salles de banquet seront placées à l'endroit le plus prestigieux. Ce prestige leur sera conféré par une position élevée donnant à contempler la mer, des collines ou un vaste territoire.

Leon Battista Alberti, *De re aedificatoria*, V, 2

Baldaqin impérial

Les premières civilisations, en Occident aussi bien qu'en Orient, ont fait du culte du soleil l'un des fondements principaux du pouvoir. Aussi est-ce tout naturellement que les souverains ont choisi pour emblème l'astre solaire, dont ils étaient censés être l'incarnation terrestre, et le globe pour un de leurs attributs. Nombreux, de même, sont ceux qui prirent le nom d'un dieu solaire. Ce fut le cas des pharaons, identifiés à Horus, qui illuminaient l'Égypte de leurs rayons, ou des rois perses achéménides⁴⁷. Cette tradition perdura jusque dans les monarchies de droit divin, ainsi qu'en témoigne Louis XIV le Grand, appelé le Roi-Soleil.

Cette identification au soleil nécessitant une mise en scène, les plafonds constellés d'astres de nombreux palais, temples et tombeaux offrirent une représentation de la voûte céleste et des dieux qui y siégeaient. Les calottes hémisphériques devinrent ainsi l'expression architecturale la plus spectaculaire et la plus monumentale du pouvoir. Mobile, le dais, étymologiquement le disque, était lui aussi un symbole du pouvoir royal. D'origine orientale, il était formé d'une toile reposant sur quatre colonnes qui accompagnait le monarque dans tous ses déplacements. Le baldaqin a été universellement adopté par les rois, les empereurs et les chefs d'Église, qui en ont coiffé leurs trônes. Plutarque raconte qu'Alexandre le Grand, lorsqu'il était en campagne, faisait dresser une tente couverte d'un ciel, à l'image des *tchâlhar-tâq*, ces temples du feu sassanides composés de salles carrées qui abritaient le feu sacré et dont les coupoles reposaient sur quatre piliers. Il y voyait le symbole de son appartenance divine autant que de son pouvoir séculier.

Dans toutes les sociétés antiques, les monarques ont voulu affirmer la domination qu'ils exerçaient sur leur territoire en y dressant un dôme à l'image de l'*omphalos* de Delphes, lequel célébrait la victoire d'Apollon, le dieu du Soleil, sur le serpent Python, emblématique des forces du mal. Platon, dans *Critias*, décrit la voûte d'ivoire ornée d'or, d'argent et d'orichalque située au centre du palais de l'Atlantide. À Rome, la coupole était l'un des attributs essentiels du pouvoir impérial. Néron, puis Hadrien en ont défini le modèle, Dioclétien lui a donné la grandeur sacrée du mausolée. Les empereurs byzantins ont tiré partie de sa forme en demi-sphère pour consacrer la double essence de leur pouvoir en s'y faisant représenter aux côtés des apôtres. Les palais de Babylone et de Bagdad au Moyen-Orient, tout comme ceux de Firuzabad et de Sarwistan en Perse, étaient surmontés de coupoles représentant le cosmos et signalaient ainsi le siège du souverain.

À son tour, le christianisme s'empara de ces symboles. La tête du Christ, de même que celle de ses saints, apparaît généralement auréolée de lumière, cependant que des rayons émanent de son corps, réminiscences iconographiques du pouvoir conféré par le soleil. À l'instar des monarques de droit divin, le Christ en majesté tient un globe dans sa main. C'est à l'emplacement de son trône, à l'aplomb du maître-autel, que se trouve la coupole des sanctuaires chrétiens. Comme l'écrivait au XVIII^e siècle le théoricien Jacques François Blondel, « au-dessus du sanctuaire s'élève une calotte, qui, par sa plus grande élévation sur

⁴⁷ Voir Louis Hautecœur, *Mystique et architecture. Symbolisme du cercle et de la coupole*, Paris, 1954.

les voûtes, annonce le milieu de la croisée et tient lieu de baldaquin au maître-autel⁴⁸ ». Sur ce dernier, le tabernacle, lui aussi surmonté d'une petite coupole couronnée d'une croix, renforçait cette symbolique. Comme pour mieux marquer l'omniprésence et le pouvoir de l'Église, les fonts baptismaux, les tombeaux des rois, les chaires des prédicateurs étaient recouverts de coupoles, et c'est dans l'abside, abrités par une demi-coupole, que siégeaient ses représentants les plus éminents.

Les monarques de droit divin s'emparèrent aussi de la coupole, dont ils firent l'emblème de leur puissance et de la légitimité qu'ils tenaient de Dieu. Ils se déplaçaient sous un dais, dormaient sous un baldaquin et leur trône était érigé sous un dôme. Ils accordaient ce privilège aux plus zélés de leurs courtisans, qui, pour ne pas être en reste, faisaient peindre leurs propres apothéoses sur les plafonds de leurs palais. Puis, lorsque les symboles de la monarchie absolue s'effondrèrent, que la puissance des Églises fut remise en question et que la course symbolique du soleil le long des voûtes s'essouffla, les kiosques n'abritèrent plus que des orphéons.

La chapelle Palatine, Aix-la-Chapelle

La chapelle Palatine est la première coupole en pierre construite au nord des Alpes. Elle abriterait le tombeau de Charlemagne, dont l'emplacement est incertain. À l'origine, il s'agissait de l'élément central d'un ensemble monumental important, à la fois sacré et temporel, qui avait le statut de cathédrale et était dédié à la Vierge. La chapelle est le seul édifice de cet ensemble à avoir survécu. Conçue par Eudes de Metz, un moine dont l'histoire n'a pas conservé d'autre souvenir que le nom, elle était située au sud d'un quadrilatère de quelque 120 mètres de côté, quadrillé en îlots selon un plan comparable à celui des cités romaines. Ce vaste espace était fermé au nord par l'*aula regia*, grand bâtiment de type basilical, et à l'ouest par une longue galerie interrompue par une entrée monumentale, ou Torhaus. Eudes de Metz s'est vraisemblablement inspiré de la basilique San Vitale, à Ravenne, où il s'était sans doute rendu⁴⁹. On a aussi parlé de références au Chrysotriklinos, édifié à Constantinople par Justin II, que le moine architecte ne connaissait certainement pas, mais que Charlemagne s'était fait décrire dans le détail. Le plan du bâtiment est un octogone centré entouré d'un déambulatoire polygonal à seize pans surmonté de deux niveaux de tribunes. À son statut d'édifice sacré, la chapelle associait une fonction plus profane. La salle du trône était située dans la tribune, au premier étage de la chapelle. Au-dessus de cette tribune, une autre chapelle contenait la riche collection de reliques de Charlemagne. L'espace central donnait accès à deux bâtiments disposés sur un même axe de part et d'autre de la chapelle. Le *secretarium*, au sud, était inspiré du palais du Latran à Rome ; à l'est se trouvait la curie. La façade ouest de la chapelle, dont la tribune rappelle la façade du palais des exarques de Ravenne, s'ouvrait sur un vaste atrium.

La coupole centrale de la chapelle repose sur un tambour percé de fenêtres et sur huit piliers massifs. Elle est construite en voûte d'arêtes, les voûtes en berceau des tribunes assurant les contrebutées. Bien que longtemps considérée comme une réplique simplifiée de San Vitale, la voûte présente des caractéristiques qui lui sont propres. Au contraire des coupoles byzantines, qui sont en brique, elle est en grès, et d'inspiration plutôt romaine.

Originellement – car l'édifice a subi d'importantes modifications à l'époque gothique, puis au XIX^e siècle –, elle était revêtue de mosaïques. Les colonnes soutenant les arcades des tribunes proviennent de Rome et de Ravenne ; elles sont en marbre, granite et porphyre. Les parapets des tribunes sont en bronze.

⁴⁸ Jacques François Blondel, *Cours d'architecture enseigné à l'Académie royale d'architecture*, Paris, s. d., IV, p. 104.

⁴⁹ Voir John Kenneth Conant, *Carolingian and romanesque architecture 800 to 1200*, Harmondsworth, 1959.

La basilique Saint-Pierre, Rome

De nombreux architectes se sont succédé au cours de la longue histoire de la basilique Saint-Pierre. Le projet que Bramante proposa en 1505 à Jules II pour la nouvelle basilique du Vatican reprenait les qualités d'harmonie et de sérénité qu'il avait conférées au « tempietto » de San Pietro in Montorio, construit en 1502 sur le site supposé du martyr de saint Pierre. Bramante projetait de réaliser une coupole hémisphérique au centre de la basilique et de la poser sur une couronne de colonnes formant une galerie. Mais il mourut en 1514, laissant un chantier tout juste entamé et dépourvu de plans définitifs. Raphaël, Peruzzi, Sangallo le Jeune prirent la relève, mais firent peu progresser les travaux.

C'est à Michel-Ange qu'il revint, à partir de 1546, de repenser la totalité de l'édifice, et notamment la coupole. Bramante avait imaginé un gigantesque martyrium inspiré de ceux de Constantin. Les proportions de son plan en forme de croix grecque et de la coupole hémisphérique qui le surmontait offraient une image d'équilibre et de puissance harmonieuse destinée à célébrer l'universalité de l'Église. Michel-Ange a conçu un projet plus colossal, plus dramatique. Il a supprimé tout ce qui pouvait faire de l'ombre à la coupole afin qu'elle puisse produire une impression de domination. Il a accentué le gigantisme des colonnes intérieures de Bramante en renforçant les piliers centraux qui supportaient la calotte ainsi que les pilastres qui prolongeaient les nervures. Le résultat est à la fois plus lourd et plus dynamique que dans le projet initial. Alors que Bramante avait conçu un monument correspondant à l'idéal de la Renaissance, héritage d'un siècle de progrès et d'humanisme, Michel-Ange préféra, face aux multiples conflits qui agitaient son siècle, un monument plus contemporain, symbole de puissance et évocateur de tensions, au service d'une Église engagée dans la défense de sa vérité.

À l'instar de celle que Brunelleschi, son compatriote florentin, avait bâtie pour la cathédrale de Florence, la coupole de Michel-Ange était composée d'une double coque, comme pour accentuer les liens qui existaient alors entre le pouvoir pontifical et ses origines florentines. Elle était posée sur un haut tambour dont les fenêtres devaient éclairer le sanctuaire et surmontée d'une lanterne qui jouait un rôle de clé de voûte similaire à celui de la lanterne de Santa Maria del Fiore. Dans le projet de Michel-Ange, la calotte extérieure devait être parfaitement hémisphérique et reprendre les proportions de celle de Bramante. Mais Michel-Ange mourut en 1564 avant de voir son œuvre terminée, alors que le tambour était en cours de réalisation. Sixte Quint désigna pour lui succéder Giacomo Della Porta, un architecte qui travaillait avec Domenico Fontana, l'homme qui devait réaménager la ville en reliant les basiliques romaines afin de faciliter le parcours des pèlerins. Pour ces deux architectes, la coupole la plus importante de la ville devait être aussi la plus élevée. Le profil ogival que Della Porta donna à celle de Saint-Pierre permettait de la rehausser de 8 mètres par rapport au projet de Michel-Ange et de la rendre ainsi plus visible. La maquette de Michel-Ange fut modifiée et la coupole extérieure rectifiée en cours de chantier pour adopter la forme qu'on lui connaît aujourd'hui.

Bâtir une centralité

De la coupole de Santa Maria del Fiore, qui s'élève au centre de Florence, Alberti a écrit qu'elle était assez vaste « pour couvrir tous les peuples de la Toscane⁵⁰ ». On pourrait en dire autant de la coupole de la basilique Saint-Pierre, conçue pour abriter l'ensemble des croyants. Celle-ci n'atteignit d'ailleurs sa plénitude que lorsqu'elle s'inscrivit dans le système urbain créé sous Sixte Quint et que la majesté de son accès fut amplifiée par la colonnade de Bernin.

⁵⁰ Leon Battista Alberti, *La Peinture*, Paris, 2004, p. 132.

Le pouvoir, quel qu'il soit, aime marquer vigoureusement le centre de son territoire. La référence à un *axis mundi* lui est essentielle, car ce dernier relie le théâtre terrestre de son action aux puissances célestes qui la légitiment. La nature lui en fournit souvent le cadre. Le temple de la reine Hatshepsout à Deir el-Bahari, dans l'ancienne Thèbes, adossé au mont sacré derrière lequel le soleil disparaît chaque soir, est une transposition monumentale de la montagne sur laquelle le pharaon s'unit au dieu Amon. Dans les mythes cosmologiques, la montagne sacrée se trouvait au centre du monde, entre ciel et terre. Ainsi que le croient fermement les Amérindiens, magie et pouvoir sont intimement liés dans ces lieux mythiques, qu'ils soient bénéfiques ou néfastes. Le piton du Corcovado, par exemple, a été pour les habitants de Rio de Janeiro le révélateur d'un pouvoir mystérieux et surnaturel, comme l'Etna et le Vésuve l'ont été pour les Siciliens ou les Napolitains. De même, le mont Kailash au Tibet, symbole du mont Meru, le centre de l'univers et lieu supposé de la naissance du monde, autour duquel les pèlerins de plusieurs religions se livrent à d'inlassables déambulations, a naturellement dû son pouvoir sacré à son imposante verticalité et peut-être à sa forme, proche de celle d'une coupole. Monts mythiques, collines, arbres de vie, rochers sacrificiels, croix, échelles, piliers et colonnes, totems et, par extension, temples et palais, sont assimilés à la montagne sacrée. Ziggourats, pyramides, stupas, panthéons, labyrinthes, *omphalos*, cathédrales, représentent le centre de l'univers et par eux passe l'axe du monde⁵¹.

Un autre axe dominant, celui qui mène horizontalement au même centre, en est l'indispensable complément, car il symbolise, selon le cas, l'humilité du pèlerin, la soumission du peuple, la dynamique de l'Histoire, le parcours initiatique de l'homme nouveau ou le progrès de l'humanité. Le Capitole de la Rome antique n'aurait pas tenu pleinement son rôle sans la via Sacra par laquelle on l'atteignait en traversant le forum. Il en est de même de l'axe royal parisien, dont le point de départ se trouvait dans la cour Carrée du Louvre et qui se prolongeait le long des Champs-Élysées. Le mall washingtonien ne doit son sens qu'au Capitole qui le domine, et inversement. Et à la Kuppelhalle qu'il avait conçue pour Hitler à Berlin, et dont la coupole de cuivre devait être sept fois plus grande que le dôme de Saint-Pierre de Rome, Albert Speer avait associé la Prachtstrasse, un gigantesque boulevard de 5 kilomètres de long bordé par les principaux sièges du pouvoir nazi.

Les coupoles ne sont pas les seules formes architecturales destinées à donner une image de la puissance. Les pyramides d'Égypte et celles du Mexique, les tours médiévales de Bologne ou de San Gimignano, celles, aujourd'hui détruites, du World Trade Center à New York, en sont autant de symboles, comme si ces formes brutales et viriles avaient été inventées par le pouvoir – celui des prêtres, des princes ou de l'argent – afin d'exprimer son désir de posséder la nature, représentation traditionnelle de la féminité et de la fertilité. Du fait qu'elles s'élèvent elles aussi sur un axe vertical, généralement souligné par une implantation topographique favorable, les coupoles rivalisent avec ces autres formes et marquent le paysage urbain de leur puissance emblématique. Mais, alors que la tour accentue l'impression de force physique associée au pouvoir qu'elle représente, la coupole délivre un message plus complexe. Si elle affirme un geste de domination par sa verticalité, elle confère aussi, grâce à son intériorité, une signification plus subtile au palais royal, au sanctuaire ou à l'activité profane qu'elle abrite. Grâce à sa forme généreuse, grâce à l'image de fertilité qui lui est attachée, la coupole exprime une relation mystérieuse et parfois ambiguë entre les richesses qu'elle renferme en quelque sorte secrètement et le monde extérieur auquel elle se propose de les offrir.

Les démocraties modernes ont repris ce symbole. C'est sous les coupoles qu'ils déposent leurs biens publics les plus précieux et installent le siège des activités communes nécessaires au bon fonctionnement de leurs sociétés. Les coupoles coiffent aussi bien des banques que des bibliothèques, des musées que des parlements. D'innombrables dômes à

⁵¹ Voir Mircea Eliade, *Traité d'histoire des religions*, Paris, 1949.

travers le monde, celui de Boston par exemple, le premier et l'un des plus célèbres capitales d'outre-Atlantique, abritent les sièges de la représentation populaire. La rotonde de l'université de Virginie à Charlottesville, conçue par Thomas Jefferson, accueille une bibliothèque. L'opéra de Paris de Charles Garnier, l'un des édifices baroques les plus spontanés et les plus vigoureux de tout le XIX^e siècle selon l'historien de l'urbanisme Lewis Mumford⁵², ferme de sa silhouette marquée d'une rotonde l'axe de l'avenue à laquelle il a donné son nom. Le British Museum et le palais des Beaux-Arts de Philadelphie sont eux aussi couronnés d'une coupole. À croire que les démocraties utilisent les lieux de savoir pour magnifier leur puissance.

Le Capitole, Washington

La conception du Capitole de Washington doit beaucoup aux idées de Thomas Jefferson. Avant d'être élu président, Jefferson avait été ambassadeur des États-Unis en France. Bon connaisseur de l'architecture européenne, à laquelle il s'intéressait depuis qu'il était jeune, il avait aussi écrit en 1785 un texte sur la naissance de l'architecture américaine. Parmi les projets auxquels il participa à son retour d'Europe, le plus important est sans doute celui de l'université de Virginie à Charlottesville, qu'il conçut en collaboration avec l'architecte Benjamin Latrobe. Une rotonde inspirée du Panthéon romain, abritant principalement une bibliothèque, souligne l'axe d'une grande composition bordée de part et d'autre par dix pavillons correspondant aux différentes disciplines enseignées, et ouvrant sur un vaste horizon autrefois campagnard. Empruntant à la fois au château de Marly et à Downing College, à Cambridge, l'université de Virginie devait, selon l'architecte président, exprimer l'avenir de l'architecture américaine.

Dans l'ambitieux plan d'urbanisme d'inspiration baroque que l'architecte français Pierre Charles L'Enfant dressa en 1791 pour la ville de Washington, le Capitole était implanté sur une colline et dominait un *mall* large d'environ 120 mètres qui menait au Potomac. Malgré une croissance très lente – les mauvaises langues de l'époque appelaient la capitale américaine la ville des « magnifiques intentions » –, le projet de L'Enfant fut relativement respecté et les bâtiments sortirent peu à peu de terre. La construction du Capitole fut mouvementée. Trois architectes s'en disputèrent la conception. Le premier édifice fut étudié par William Thornton, un médecin, architecte éclairé comme l'avait été Thomas Jefferson, assisté de Benjamin Latrobe et d'un architecte d'origine française, Stephen Hallett⁵³. Réalisé entre 1804 et 1811, le projet s'inspirait largement de Somerset House à Londres. Après que les Anglais eurent brûlé ce premier Capitole en 1814 lors d'une attaque de la ville – au cours de laquelle ils brûlèrent également la Maison Blanche –, Benjamin Latrobe collabora avec William Thornton à l'étude de sa reconstruction. En 1826, Charles Bulfinch, le successeur de Latrobe, couvrit l'édifice d'un premier dôme hémisphérique en bois qui ne donna pas satisfaction. On proposa alors que la coupole fût surélevée, pour les mêmes raisons que l'avait été celle de Saint-Pierre de Rome, afin de lui assurer la position dominante prévue par le plan de L'Enfant. Réalisé en 1863 par Thomas U. Walter, le dôme est constitué d'une double structure métallique composée de trente-six nervures cachées sous une peau extérieure, également en acier, qui lui donne un faux aspect classique.

Le palais des Congrès, Brasília

L'architecte brésilien Oscar Niemeyer a réalisé trois coupoles destinées à couvrir des programmes aussi différents et exceptionnels que le palais des Congrès de Brasília, le musée de l'Aviation du parc Ibirapuera à São Paulo et le siège du Parti communiste français à Paris. Ces ouvrages de béton armé comportent une calotte surbaissée dont la hauteur

⁵² Voir Lewis Mumford, *La Cité à travers l'histoire*, trad. de l'américain par Guy et Gérard Durand, Paris, 1964.

⁵³ Voir Vincent Scully, *American architecture and urbanism*, Londres, 1969.

équivaient, selon les cas, à un tiers ou un quart de leur diamètre. Posés sur le sol, recouvrant des espaces partiellement enterrés pour ce qui est des deux derniers, ils représentent, aux dires de l'architecte, la voûte céleste dans le cas du musée de l'Aviation, « l'universalité d'une certaine forme de matérialisme⁵⁴ » pour le siège du PCF.

Construit entre 1958 et 1960, le palais des Congrès de Brasília est situé sur l'axe monumental de la nouvelle capitale du Brésil, qu'il coupe sur toute sa largeur et avec lequel il articule la place des Trois-Pouvoirs, place qu'il forme avec le palais présidentiel du Planalto et la Cour suprême. Le symbole de cette disposition est évident : le pouvoir législatif, marqué par une coupole blanche et son double inversé, est placé entre les deux autres entités du pouvoir démocratique, l'exécutif et le judiciaire. L'axe monumental conduit vers la ville, à la rencontre du peuple brésilien. Dans cette vaste composition, la place, où les édifices abritant les trois pouvoirs forment un large triangle, constitue le centre politique du pays dont la coupole du Congrès est en quelque sorte l'*omphalos*.

« C'est la place des Trois-Pouvoirs qui symbolise le mieux ce que j'ai voulu faire », explique Niemeyer, qui ajoute l'anecdote suivante : « C'est à Paris que j'ai ressenti la plus forte émotion de ma vie, car l'hommage qui m'était rendu était spontané. J'étais assis dans une salle de cinéma pour voir le film *L'Homme de Rio*, de Philippe de Broca, avec Jean-Paul Belmondo. Lorsque l'avion a survolé la place des Trois-Pouvoirs, les spectateurs ont applaudi avec tellement d'enthousiasme, tellement de chaleur, que j'en ai été bouleversé⁵⁵. »

Pouvoir et savoir

La représentation du pouvoir en architecture nécessite un apprentissage qui peut s'avérer long, complexe et imprévisible. Chez les Romains, ainsi, qui avaient fondé une large part de leur organisation spatiale sur la combinaison du cercle et du carré, la typologie de la coupole ne s'est affirmée que très tardivement, et son développement a suivi la sinueuse évolution des relations entre pouvoir et savoir. Malgré la place de choix qu'ils avaient réservée, dans le mythe de l'origine de leur ville, au symbole du cercle inscrit dans un carré, et en dépit de la facilité avec laquelle ils élevaient des voûtes par-dessus des bases circulaires, ils n'ont en effet jamais cherché à en construire au-dessus de bases orthogonales.

À l'époque impériale, le procédé le plus couramment utilisé pour construire une voûte consistait à réaliser un cintre en bois, sur lequel on posait une première rangée de briques carrées. Sur cette première couche relativement mince, des files de briques étaient assemblées de façon à constituer des caissons rectangulaires destinés à assurer la rigidité de la future voûte. Ces caissons étaient remplis d'une maçonnerie formée de débris de matériaux hétérogènes disposés en vrac et liés par un mortier très liquide. Une fois que le mortier avait pris, on retirait le cintre, et la construction, qui était alors comme monolithique, devenait extrêmement résistante et capable d'une grande longévité. La structure pouvait alors être masquée par un enduit ou revêtue de marbre, à moins qu'un relief à caissons n'ait été prévu lors de la préparation des coffrages. Cette technologie, qui, d'une certaine façon, s'apparente à celle du béton actuel, se généralisa à Rome au I^{er} siècle de notre ère et atteignit son apogée avec la construction du Panthéon. Au contraire de la taille et de l'assemblage des coupoles en pierre, la technique du béton ne nécessitait pas de main-d'œuvre hautement spécialisée. La corvée était d'ailleurs l'une des données essentielles de la construction romaine et les centurions qui recrutaient les ouvriers les sélectionnaient selon des critères limités.

C'est à l'époque d'Auguste que la plus ancienne coupole romaine aujourd'hui conservée, celle des thermes de Mercure, fut construite à Baïa, petite ville thermale située à l'ouest de

⁵⁴ Cité in Gilbert Luigi, *Oscar Niemeyer : une esthétique de la fluidité*, Marseille, 1987, p. xxx.

⁵⁵ Oscar Niemeyer & Édouard Bailby, *Niemeyer par lui-même : l'architecte de Brasilia parle à Édouard Bailby*, Paris, 1993, p. xxx.

Naples. Sa voûte, dont le diamètre est de 21,50 m, est faite d'une maçonnerie liée au mortier, et un oculus central l'éclaire à son sommet. L'ensemble thermal de Baia comprend deux autres édifices, le temple dit de Vénus, extérieurement octogonal, intérieurement circulaire, recouvert d'une coupole de 26,30 m de diamètre, et les thermes dits de Diane, dont la coupole a un diamètre de 29,50 m. Non loin de là, au bord du lac d'Averne, se dresse la deuxième plus grande coupole romaine après le Panthéon, à savoir celle du temple d'Apollon, qui mesure 36 mètres de diamètre. Sous les règnes de Domitien puis de Trajan, les coupoles commencèrent à se multiplier. Témoins la rotonde d'Albano, dans le Latium, aujourd'hui église Santa Maria della Rotonda, et les coupoles des thermes de Trajan, qui serviront de modèle à tous les établissements de bains édifiés dans l'Empire romain à partir de cette époque. Longtemps, en effet, les coupoles ont été réservées à l'architecture thermale, ainsi que le précise Vitruve, qui ne les évoque que très succinctement dans ses *Dix livres d'architecture*. Néron fut un des premiers à détourner le modèle en vigueur pour coiffer d'une coupole « cosmique » la salle octogonale qu'il avait fait construire dans la Domus Aurea, son palais romain, et qui, selon Suétone, « tournait perpétuellement sur elle-même, jour et nuit, comme le monde ». Hadrien en fit réaliser une du même type dans sa villa de Tivoli, et Constantin également dans sa Domus Aurea de Constantinople. Dioclétien, quant à lui, fixa le nouvel axe du monde romain dans sa ville de Split en y érigeant son mausolée, lui aussi surmonté d'une coupole.

Si certaines des salles ainsi recouvertes sont bâties sur un plan polygonal, la plupart des constructeurs romains ont choisi la solution la plus simple : l'édifice de base présente un plan circulaire, et la coupole hémisphérique qui le couvre est monolithique. On remarque pourtant, d'après plusieurs de leurs réalisations, que les architectes romains de l'époque d'Hadrien connaissaient les techniques orientales permettant d'assurer la transition entre le plan carré de la base et le pourtour circulaire de la coupole. En témoignent certains espaces polygonaux des thermes de Caracalla, de la villa d'Hadrien ou du mausolée Il Torrione, situé dans la via Prenestina, à Rome, ou encore ce monument funéraire de la via Nomentana, également à Rome, appelé Sedia del Diavolo et daté du II^e siècle, qui est doté d'une coupole à trompes. Pourtant, de façon générale, les architectes romains ont préféré éluder la difficulté liée à la zone de transition en élevant leurs coupoles sur une base circulaire.

Le Panthéon, Rome

Le Panthéon, sanctuaire dédié aux dieux, a été bâti sous le règne de l'empereur Hadrien. Sa construction, datée avec précision par les estampilles des briques, s'étend des années 118 à 125 de notre ère. Il est situé sur le Champ de Mars, à l'ouest du Capitole, dans un quartier que César avait projeté de remodeler et que ses successeurs ont progressivement enrichi d'édifices aussi différents que le mausolée d'Auguste, les thermes de Néron ou le stade de Domitien, future piazza Navona.

Le Panthéon marque un tournant par rapport à tous les ouvrages sacrés qui l'ont précédé. L'histoire raconte qu'Hadrien s'était brouillé avec l'architecte grec Apollodore de Damas, qu'il avait hérité de Trajan, car ils avaient des idées différentes en matière d'architecture. Le fait est que la conception du Panthéon est à l'opposé de celle du temple d'inspiration grecque, traditionnellement établi sur un plan axial et destiné à être contemplé de l'extérieur. Cylindrique, quasiment dépourvu d'ornementation extérieure, le Panthéon est entièrement centré sur son espace intérieur et ignore délibérément son environnement urbain. Seul le portique, situé sur l'emplacement d'un premier Panthéon érigé par Agrippa pendant le règne d'Auguste, établit un lien visuel entre la ville et l'intérieur de la rotonde, éclairé par la seule lumière zénithale provenant de l'énorme oculus central.

Le Panthéon est composé de deux éléments bien distincts : une rotonde recouverte d'une coupole et un portique à colonnes. L'association de deux éléments formellement aussi dissemblables pourrait paraître hétérogène. C'est pourtant l'interpénétration de ces deux volumes, l'un conçu selon un plan orthogonal très classique, l'autre selon un plan circulaire,

qui donne tout son sens à l'édifice. Le célèbre historien John B. Ward-Perkins écrit qu'avec la construction du Panthéon la pensée architecturale s'inversa et [qu']à partir de ce moment le concept d'espace intérieur comme facteur dominant devint un élément fixe⁵⁶.

La coupole du Panthéon représente l'une des avancées technologiques les plus radicales de l'architecture mondiale. Elle mesure 43 mètres de diamètre et s'élève à 50 mètres de hauteur. Le bâtiment repose sur une gigantesque semelle de béton. Le cylindre porteur de la coupole est formé par un mur périphérique de plus de 6 mètres d'épaisseur dont le volume n'est pas plein. Outre les sept grandes niches qui s'ouvrent sur l'espace central, un système invisible d'alvéoles évide le massif mural, l'articulant en un faisceau de nervures dont la fonction est de raidir la structure cylindrique de la base. Sur ce cylindre s'élève une coupole structurée par des nervures formant des caissons qui sont superposées en cinq rangées concentriques jusqu'à l'oculus de 9 mètres de diamètre situé au sommet de la voûte.

La technique utilisée pour la construction de la voûte du Panthéon s'apparente à celle du béton d'aujourd'hui. Les fondations et le cylindre vertical sont composés de pierres de travertin, un matériau très dense. Le premier anneau de la coupole comporte de la brique, moins lourde, les suivants, un mélange de brique et de tuf poreux, et la zone qui entoure l'oculus, des roches volcaniques très légères. Le caractère monolithique de l'ensemble est atténué par une série d'arcs destinés à alléger les poussées de la coupole sur les murs du tambour cylindrique.

Bien que les bâtisseurs du Panthéon aient éludé la difficulté représentée par la zone de transition, la géométrie de l'ouvrage témoigne de l'importance que l'empereur architecte accordait au passage symbolique du carré au cercle. Le volume de l'espace intérieur correspond très exactement à la sphère que l'on obtiendrait en prolongeant la coupole vers le bas. Un axe vertical l'oriente fortement vers le firmament au fur et à mesure qu'il traverse trois parties bien distinctes avant de se perdre dans la voûte céleste à travers l'oculus zénithal. La zone inférieure du tambour est richement articulée par sept niches profondes auxquelles l'entrée de l'édifice vient s'ajouter pour former un octogone. La zone supérieure du cylindre est beaucoup plus simplement décorée de petites loges composant un polygone à seize côtés. La coupole, enfin, est formée de fuseaux verticaux, au nombre de vingt-huit, multiple de sept. Que ce soit par son mode de construction ou par sa géométrie, la coupole est donc clairement dissociée de la partie inférieure du sanctuaire.

En doublant vers le nord le carré inscrit dans l'octogone que les niches composent avec l'axe du monument, on obtient le tracé du portique extérieur. Ce nouveau carré se décompose en un nouveau double carré grâce aux seize colonnes du péristyle. Un second axe nord-sud, perpendiculaire à l'axe vertical, est formé par le vestibule. Ces deux axes confèrent au monument une dimension typiquement romaine en le reliant à la ville par son portique et au cosmos par sa rotonde.

Relever le défi

Au III^e siècle, sous la poussée des Barbares, l'autorité romaine s'était affaiblie et les flux économiques s'étaient déplacés vers Antioche et Alexandrie, les deux grandes cités des provinces d'Orient. Le pouvoir impérial glissait lui aussi vers l'est : Trèves puis Ravenne devinrent d'éphémères capitales de l'Empire. Dioclétien établit sa résidence à Split, sur la côte dalmate, et sa capitale à Nicomédie, en Asie Mineure. En 310, Constantin s'empara de Byzance, une obscure cité grecque qu'il consacra bientôt capitale économique, militaire et religieuse de l'Empire romain. Cette nouvelle Rome d'Orient, profondément renouvelée par la religion chrétienne récemment adoptée par l'empereur et de surcroît teintée de la culture grecque toute proche, était également influencée par l'Empire perse sassanide, seul État

⁵⁶ Voir Axel Boëthius & John B. Ward-Perkins, *Etruscan and Roman Architecture*, Harmondsworth, 1979, p. 256.

capable de lui tenir tête. Si l'empereur était l'héritier de Rome, il parlait désormais au nom de Dieu plus qu'au nom du peuple et du Sénat romain. Représentant de Dieu sur terre, il était l'*isapostolos*, l'égal des apôtres, et exerçait à ce titre une autorité absolue sur l'État comme sur l'Église. À l'image du Cosmocrator telle qu'elle s'était exprimée dans l'espace statique du Panthéon se surimposait dès lors celle de la Jérusalem céleste. Il y avait dans les attributs de ce pouvoir la superposition de deux symboles, celui du Christ, souverain des cieux, et celui de l'empereur, souverain terrestre. Le pouvoir de droit divin, à l'origine des monarchies modernes, affirmait sa légitimité au travers d'une image dessinée entre ciel et terre.

L'Église d'Occident, pour laquelle le concept de la rédemption était lié à cette notion de parcours, resta fidèle au modèle de la nef, symbole de la barque de Pierre. En Orient, en revanche, la nef de la basilique fut le plus souvent associée à une rotonde qui en constituait l'aboutissement. Sainte-Constance, le mausolée romain de la fille de Constantin, représente peut-être la première tentative de synthèse entre l'espace centré romain et la nef basilicale chrétienne. En apparence, sa conception spatiale est semblable à celle du Panthéon : même rotonde, même portique. Pourtant, sa disposition intérieure, de type basilical, vise à accentuer l'axe longitudinal de l'édifice dans toute la mesure du possible afin de lui donner une dynamique dont le Panthéon était dépourvu. Soutenue par une colonnade, sa coupole inondée de lumière, décorée à l'origine d'une mosaïque représentant la Jérusalem céleste, est l'aboutissement d'un parcours qui concorde avec le concept chrétien de la rédemption.

Les systèmes monolithiques des bâtisseurs romains ne pouvaient convenir à la conception byzantine de la transition entre terre et ciel. La vision du cosmos qui était celle des Byzantins était très imprégnée des traditions antiques et des doctrines chrétiennes. Derrière le monde apparent, il existait, selon eux, un autre univers, totalement inaccessible. Au-delà du monde sensible, il y avait le monde intelligible, et la mer de Cristal constituait la limite invisible entre ces deux sphères. Derrière cette enveloppe transparente, des anges conduisaient les corps et les phénomènes célestes. Au monde sensible correspondait l'espace cubique du sanctuaire, au monde inaccessible, la voûte de la coupole. Entre les deux s'étendait la mer de Cristal. Pour donner forme à cette métaphore, il fallait que l'articulation entre le cube et la sphère fût plus fluide que ne l'étaient les trompes d'angle d'origine perse des premières églises byzantines. C'est ainsi que fut adopté le pendentif, inspiré de l'expérience syrienne. Une fois enduit, le pendentif permettait de passer du carré au cercle de façon continue, et la décoration accentuait encore son rôle de transition. Dans les premières églises byzantines, son rayon était le même que celui de la coupole, ce qui produisait un effet général de tassement. L'innovation des architectes de Sainte-Sophie a consisté à diminuer son rayon, ce qui, visuellement, renforçait son rôle de transition.

L'ornementation de la coupole de Sainte-Sophie, réalisée bien après la construction de la basilique, n'a pas été conservée, mais les exemples relevés ailleurs, notamment à Ravenne, montrent par quels moyens la zone de transition illustre la mer de Cristal et affirme la position impériale dans la hiérarchie céleste. Au centre de la calotte domine l'Agneau rédempteur, soutenu par quatre anges. Dans la demi-coupole de l'abside qui la prolonge, où trône le Christ Cosmocrator assis sur un globe et assisté de deux anges, apparaissent Justinien et l'impératrice Théodora, entourés des principaux dignitaires ecclésiastiques et laïcs de leur cour. La zone de transition censée représenter la mer de Cristal est peuplée de dauphins portant des saints sur leur dos ainsi que de villes bibliques, cités divines d'essence à la fois terrestre et céleste. Dans l'abside, les évangélistes et l'empereur *isapostolos* jouent le rôle de médiateurs entre le ciel et la terre. Dans la partie inférieure, la vie terrestre est illustrée par des scènes de la vie quotidienne issues d'anecdotes bibliques et contenant de nombreux animaux, en alternance avec des motifs géométriques en marbre provenant des quatre coins de l'Empire.

La basilique Sainte-Sophie, Istanbul

C'est à la basilique Sainte-Sophie, voulue par l'empereur Justinien, qu'il revint de parfaire la synthèse entre la basilique chrétienne et la rotonde impériale. L'empire d'Orient était alors à son apogée. De Justinien, l'historien byzantin Procope pouvait écrire que « le monde entier ne semblait pas en mesure de le contenir ». Édifiée à Byzance dès son accession au pouvoir, l'église Saints-Serge-et-Bacchus, que les Turcs appelleront la petite Sainte-Sophie, présente un plan centré inscrit dans un carré et un dôme octogonal. Trois ans plus tard, l'empereur devait achever le martyrium de San Vitale à Ravenne, inspiré de cette première église.

Fort de cette expérience, il confia deux ans plus tard la réalisation de Sainte-Sophie aux architectes Anthémios de Tralles et Isidore de Milet. Présentés dans les textes comme des *mechanikoi*, les deux hommes étaient des mathématiciens. Anthémios était l'auteur d'un traité sur *Les Paradoxes mécaniques*, Isidore avait vécu en Syrie et exercé son métier de maître d'œuvre non loin d'Alep. Ils achevèrent la basilique en cinq ans. Procope raconte que le 26 décembre 537, jour de la consécration, l'empereur se serait exclamé : « Salomon, je t'ai vaincu ! »

Bien que le plan intérieur de Sainte-Sophie se rapproche d'un carré – il mesure 71 mètres sur 77 –, il imprime à l'édifice une direction dominante. Quatre immenses piliers de pierre et de plomb supportent quatre arcs en plein cintre sur lesquels repose, à 51 mètres du sol, une coupole de 31 mètres de diamètre. La coupole est construite en briques d'une grande légèreté fabriquées spécialement à Rhodes. À la base de la coupole, des fenêtres éclairent la voûte et l'isolent de l'espace inférieur. Au nord et au sud, les arcs sont fermés par des murs supportant des tribunes. À l'est et à l'ouest, dans la longueur du plan rectangulaire, la coupole est épaulée par deux demi-coupoles qui soulignent l'axe dominant et dirigent vers le sol les poussées de la calotte principale. Celle qui est située à l'est abrite l'abside ; celle de l'ouest, le narthex, autrefois précédé d'une cour. Le plan basilical constitué par la rotonde centrale prolongée des deux demi-coupoles réalise une bonne synthèse entre la centralité exigée par le pouvoir impérial et le parcours rituel nécessaire à la liturgie chrétienne. À l'origine, cette double vocation était renforcée par la décoration d'Anthémios, aujourd'hui disparue. La coupole, à l'image du monde céleste, était couverte de mosaïques à fond d'or sur lesquelles se détachaient des croix, évocation possible des étoiles. Elle attestait ainsi le caractère sacré de l'empereur. La partie basse, aujourd'hui encore parée de plaques de marbre de diverses provenances, représentait l'univers tangible réservé à son pouvoir temporel.

6. Habitat

*Roam Home to a Dome*⁵⁷.

Richard Buckminster Fuller

L'abri du nomade

Depuis des époques reculées, la planète s'est couverte de toutes sortes d'habitations vernaculaires hémisphériques qui peuvent être assimilés à des coupoles ou à des dômes. Leurs modes de construction sont extrêmement variés : les igloos des Inuits sont faits de blocs de neige et de glace, les huttes kenyanes de treillis de bois courbé, les tentes touareg de toile, de même que les yourtes turkmènes ou kirghizes ; les bories provençales et les trulli d'Apulie sont en pierre, et en adobe les maisons surmontées de coupoles que l'on trouve en Turquie, en Syrie, au Yémen et ailleurs. En dépit de leur aspect très divers, ces habitats présentent maintes caractéristiques communes qui expliquent la forme retenue par leurs constructeurs, lesquels se confondent la plupart du temps avec leurs occupants.

Tous se définissent par l'étroite relation qu'ils entretiennent avec leur environnement physique, des régions le plus souvent hostiles. De ce fait, chaque type d'habitat est généralement fonction du site dans lequel il est implanté et auquel il s'adapte aussi bien par sa forme que par l'ampleur de l'espace intérieur que celle-ci détermine. Ainsi, l'igloo inuit allie une excellente économie de moyens à une bonne habitabilité et à un confort intérieur remarquable eu égard au caractère extrême des conditions géographiques, offrant une température de 15 °C alors que la température extérieure peut descendre jusqu'à -40 °C. Pour éviter le froid, l'accès est en effet surbaissé par rapport au sol intérieur et la literie surélevée sur une plate-forme appelée *iqliq*. Autrefois dressés en hiver, essentiellement par les anciens Inuits des Territoires Centraux situés au nord du Canada, les igloos, qui, depuis plusieurs décennies, ne sont pratiquement plus utilisés comme logements, sont des voûtes circulaires en encorbellement. Afin d'en faciliter le montage, les premiers blocs de glace sont découpés de façon à former un plan incliné sur lequel viendront glisser les assises suivantes, qui s'enrouleront en spirale jusqu'au sommet.

Destinés à des populations pauvres, les habitats nomades répondent à des modes de vie très spécifiques liées à des conditions économiques bien particulières. Ils sont composés de matériaux légers qui les rendent aisément maniables et déplaçables. Une fois démontés, la facilité de stockage et de transport de leurs éléments est un critère aussi important que celle de leur assemblage ou que la solidité de l'ensemble. En Afrique du Sud, les pygmées Mbuti n'ont besoin que de quelques heures pour monter leurs abris éphémères. Ils enfoncent des perches souples dans le sol, les courbent et les lient entre elles pour leur donner la forme d'une demi-sphère, qu'ils habillent ensuite de branchages ou d'écorces. Bien que ce type de construction nécessite un savoir-faire relativement élaboré, il est accessible à tous les membres de la communauté, hommes, femmes et enfants. Il est économe en matériaux, lesquels sont toujours issus des ressources naturelles locales. L'absence de toiture et le choix d'un matériau unique pour la totalité de la couverture évitent en outre bien des difficultés à des populations qui construisent elles-mêmes leurs habitations. Malgré une surface au sol réduite, ces huttes offrent surtout à la communauté familiale ou à l'individu auxquels ils sont destinés un espace intérieur haut de plafond qui leur garantit des conditions de confort thermique correctes et bien adaptées au climat. À quelques variantes près, on trouve des solutions similaires en Afrique australe, en Éthiopie, au Tchad, en Australie. Les abris des nomades Rendilles, par exemple, qui vivent avec leurs troupeaux dans une région

⁵⁷ « En route pour la maison dôme ! »

particulièrement aride du nord-ouest du Kenya, sont conçus pour répondre à la grande mobilité et au mode de transport de ces tribus. Ces ouvrages, qui se présentent comme des petits dômes de 2 mètres de diamètre environ, sont structurés par une série d'arceaux en bois plié qui leur confèrent solidité et légèreté, puis recouverts de nattes. Une ouverture rectangulaire, maintenue par des poteaux droits, est découpée dans la paroi. L'ensemble peut être rapidement démonté et, une fois rassemblé, porté à dos de chameau.

L'Europe aussi possède divers types d'habitat vernaculaire en forme de coupole. Les bories, bâties depuis des périodes relativement anciennes dans plusieurs régions du sud de la France, notamment en haute Provence, offraient autrefois un refuge temporaire aux bergers qui parquaient leurs troupeaux dans des enclos contigus. Dans certains cas, plusieurs cabanes de ce type, regroupées sur le même site, pouvaient constituer un abri plus permanent. De même que les trulli de l'Italie méridionale, les bories sont des constructions en pierre. Posées sur des murs très bas, les voûtes circulaires qui forment leur toit sont dressées en assises successives selon la technique de l'encorbellement. Au droit des fenêtres et des portes, des linteaux en pierre assurent la continuité de la couverture, qui ondule parfois légèrement à cet endroit.

Au-delà de leurs évidentes qualités formelles et de leur adéquation économique et fonctionnelle aux modes de vie nomades, ces ouvrages hémisphériques, majestueusement dressés, à l'image des temples antiques, sur les grandes étendues désertiques qu'arpentent leurs occupants, véhiculent une image symbolique qui tient une part importante dans la conscience que ces derniers ont de leur identité. Leur abri ne leur apparaît pas seulement comme un espace fermé qui leur assure une protection, il les met en relation avec leur environnement physique et spirituel. Le trou de fumée de la yourte représente la fenêtre du ciel, qui relie la terre au cosmos⁵⁸. Bien que modestes, les habitats de ce type sont porteurs de toute une mythologie, de superstitions, de magie, de croyances. Aussi, malgré les mutations du monde auxquelles ils sont aujourd'hui confrontés, leurs occupants tentent-ils de les conserver, pour ne rien perdre des valeurs universelles, naturelles, voire surnaturelles qui leur sont attachées.

Sur le plan domestique, l'occupation de l'espace est généralement très élaborée.

L'organisation intérieure des yourtes, comme celle des *hogan* navajos, fait l'objet de rituels auxquels correspond une partition extrêmement codifiée. Dans les deux cas, face au foyer se dresse l'autel. Dans les traditions chamaniques étudiées par Mircea Eliade, un arbre, dont la cime s'échappe par l'ouverture supérieure, est dressé au centre de l'espace pour marquer l'axe du monde⁵⁹. Ainsi, ces habitats simples, aux formes archétypales, abritent secrètement un certain nombre de fonctions publiques ou sacrées auxquelles la communauté ne peut pas dédier d'édifices particuliers, mais dont elle a implicitement besoin pour des raisons à la fois sociales et symboliques. Selon les circonstances, ces modestes abris deviennent alors, l'espace d'un instant, palais ou temple.

La yourte

La yourte, au nom d'origine turque⁶⁰, est l'habitat adopté par plusieurs peuples nomades organisés en hordes et implantés sur de très vastes territoires allant de la Mongolie à l'Asie centrale et à l'Iran. Adaptée aux modes de vie nomades et aux climats extrêmes de ces régions, elle abrite de nombreuses tribus turkmènes, kazakhs, ouzbeks et mongoles.

C'est sans doute en Mongolie que la yourte, appelée *ger* dans ce pays, est le plus remarquable. Sa partie basse est composée de plusieurs treillis de bois qui forment une base cylindrique, le *kanat*, de 4 à 7 mètres de diamètre et de 1,50 m à 1,80 m de hauteur.

⁵⁸ Voir Mircea Eliade, *Traité d'histoire des religions*, Paris, 1949.

⁵⁹ Voir *ibid.*

⁶⁰ Voir Paul Oliver, *Dwellings : the vernacular house world wide*, Londres, 2003.

Chaque treillis est fait de lattes de bois – en principe au nombre de trente-trois – reliées entre elles par des lacets de cuir que l'on mouille avant de les nouer afin que les nœuds se resserrent lors du séchage. Une fois terminé, le *kanat* est posé directement sur le sol. Une couronne centrale, véritable clé de voûte de la coupole qu'est la yourte, est alors fixée sur un mât de 3 mètres de hauteur environ. Cette pièce métallique, qui rassemble à une roue de bicyclette, peut atteindre 2 mètres de diamètre. Elle est reliée à la base du *kanat* par des tiges en bois incurvées qui donneront à la yourte la forme d'une ogive. Ces tiges, préformées à la vapeur, sont fixées à la couronne par un système de tenons et de mortaises et à la base par des cordes qui rigidifient l'ensemble. La porte, constituée d'un cadre massif, contribue à la stabilité de la structure. Une fois le montage terminé, plusieurs épaisseurs d'une lourde toile de feutre sont posées en couverture et retenues par des bandes de tissu ou par des cordes. Le tout ne pèse pas plus de 200 kilos et peut abriter jusqu'à une vingtaine de personnes.

En dépit des différences régionales, l'intérieur de la yourte est organisé de façon rituelle. Il est divisé en quatre parties égales auxquelles on accède par un espace circulaire qui doit être emprunté dans le sens des aiguilles d'une montre. Au centre se trouve le foyer, marqué au sol par un carré. Le premier quadrant, celui de l'entrée, est l'espace le plus public. À gauche, l'espace des hommes est aussi celui des selles, des armes et du matériel de chasse. À droite, l'espace des femmes et des enfants contient les ustensiles de cuisine, les vêtements et les objets de valeur. Face à l'entrée, ouvert sur le foyer central, l'espace de réception abrite aussi un autel.

Construire avec le peuple

Malgré leur incontestable qualité architecturale et leur bonne adaptation à des contextes sociaux, économiques et climatiques difficiles, de nombreux habitats vernaculaires traditionnels évoquent aujourd'hui des images de régression et de pauvreté aux yeux des populations qui les ont élaborés et utilisés pendant des siècles. Industrialisation aidant, ils sont de plus en plus souvent délaissés et tombent en désuétude. Seuls le tourisme et une certaine architecture de loisirs y trouvent un intérêt folklorique grâce auquel ils retrouvent une seconde vie, quoique très aseptisée par rapport à la précédente. Les peuples nomades en voie de sédentarisation contribuent pour beaucoup à cette désaffection. Le développement des matériaux contemporains joue un rôle essentiel dans ce rejet, car ils représentent la tentation de la modernité, quand bien même ils ne sont pas adaptés aux conditions de vie locales.

L'architecte égyptien Hassan Fathy, à qui est emprunté le titre de ce chapitre, fut l'un des premiers défenseurs de formes d'habitat à bas prix susceptibles de répondre aux énormes besoins en logement des pays du tiers monde. Au cours de ses recherches, qui l'ont conduit à étudier l'origine des voûtes nubiennes en brique, il a multiplié les expériences et démontré les avantages de la construction en terre dans ce contexte. Malgré les difficultés qu'il lui a fallu surmonter pour vaincre les réserves des administrations et la méfiance des habitants, ses villages de voûtes et de coupoles en terre sont aujourd'hui célébrés dans le monde entier. S'inspirant de ses travaux, de nombreux organismes internationaux, instituts de recherche et cabinets d'architectes mettent en œuvre des programmes d'habitat économique utilisant des matériaux issus des ressources locales, adaptés aux rigueurs du climat, aux modes de vie des populations et au confort que celles-ci peuvent légitimement attendre des progrès actuels.

D'autres architectes se sont inspirés de la demi-sphère pour imaginer des habitats en rupture avec les modèles dominants. Durant les années 1960-1970, de nombreuses propositions plus ou moins utopiques de logements à plan centré ont vu le jour, mais elles sont généralement restées à l'état de prototypes. La plupart répondaient aux aspirations nouvelles de liberté et de mobilité, de non-conformisme et d'intimité dont le marketing s'empara par la suite pour les rassembler sous le concept de *cocoon*. C'est de ce type de

projet que relevait le Living Pod de David Greene, un architecte du groupe londonien Archigram. Il s'agissait d'une capsule mobile rappelant la forme d'un casque de cosmonaute, offrant un confort minimal mais pouvant être raccordée – *plugged-in* – à une structure urbaine plus complexe, la Plug-In City⁶¹. Le Cushicle de Michael Webb, autre membre d'Archigram, était un dôme gonflable et jetable qui, selon son créateur, devait permettre à un homme de transporter un environnement complet sur son dos. D'autres structures hémisphériques, gonflables celles-là, se sont développées à la même époque, tandis que de nombreux prototypes de maisons pneumatiques étaient présentés un peu partout par des architectes ou des équipes de recherche. Si la plupart de ces propositions restèrent dans les cartons, la technique des enveloppes gonflables trouva des débouchés dans de multiples domaines, moins dans celui du logement que dans celui des installations sportives, agricoles et commerciales.

La demi-sphère a par ailleurs inspiré des solutions technologiquement plus sophistiquées. L'architecte américain Buckminster Fuller n'a cessé de chercher à convaincre ses partenaires financiers qu'un habitat individuel de plan circulaire pouvait être industrialisé comme une automobile. Sa Wichita House, qui ne dépassa pas le stade du prototype, a fait l'objet d'années d'études et de recherches industrielles. Buckminster Fuller étudia différents projets de dômes géodésiques dévolus à l'habitat. En 1948-1949, alors qu'il enseignait à Black Mountains College, en Caroline du Nord, il mit au point avec ses étudiants un dôme destiné à abriter un logement standardisé – Standard of Living Package Model – pouvant être transporté dans un container. Une fois le dôme assemblé et le container en place, ses quatre faces s'ouvraient et son intérieur se transformait en une habitation entièrement industrialisée, meubles compris. À une tout autre échelle, Buckminster Fuller proposa en 1960 un dôme de 2 miles de diamètre destiné à recouvrir tout le bas de l'île de Manhattan. La ville de Old Man River, qu'il conçut en 1971 à l'est de Saint Louis, devait également être protégée par un immense dôme géodésique. Il imagina encore, à peu près vers la même époque, des sphères volantes intitulées Cloud Structures qui devaient être rattachées au sommet des montagnes et contenir des villes de plusieurs milliers d'habitants. Aucune de ces propositions ne se concrétisa, mais elles ouvrirent la voie à plusieurs projets de biosphères, dites éco-efficentes car capables de réguler la qualité de leur air et de leur eau et de traiter les déchets et la pollution engendrés par les activités qui s'y dérouleraient.

L'ingénieur français David Georges Emmerich, qui mena des études comparables, imagina quant à lui une coupole géodésique de grande taille dans laquelle l'habitat se développerait spontanément. Empruntant à la logique du bidonville, il présenta un projet de logements installés sous une coupole de 65 mètres de diamètre par 35 mètres de hauteur. La structure autotendue de l'enveloppe, qui devait être composée de mille six cent quatre-vingts barres métalliques identiques de 7 mètres de longueur, aurait accueilli des modules construits par les habitants eux-mêmes. Dans ce projet, les logements étaient posés sur des terrains artificiels suspendus par des câbles dans le volume de la coupole, tandis que les circulations verticales étaient assurées par trois ascenseurs situés à la périphérie, de même que les réseaux d'alimentation et d'évacuation. Le sol naturel était ainsi libéré pour un usage public. L'ensemble était de surcroît facile à démonter, sans préjudice pour le site, qui pouvait ensuite être rendu à son état initial.

Les coupoles de brique de Hassan Fathy

Lorsque l'architecte égyptien Hassan Fathy s'intéressa à la technique de la terre crue pour construire ses maisons d'habitation, il se posa très tôt la question de leur couverture. Malgré le faible coût de la maçonnerie en brique crue, ses premières villas, qui étaient destinées à

⁶¹ La Plug-In City est un projet de ville bâtie autour d'une structure de tubes (des escalators/ascenseurs et d'autres tubes par lesquels transiteraient des marchandises ou de l'énergie) auxquels sont accrochées des unités de production, de commerce et d'habitation.

de riches clients, revenaient presque aussi cher que les maisons conventionnelles, et cela en raison du coût de la charpente. C'est en visitant près d'Assouan les villages nubiens et leurs nécropoles, ainsi que le monastère copte Saint-Siméon, qu'il acquit la conviction qu'il lui fallait renouer avec la tradition millénaire de la voûte pour résoudre le problème de l'habitat populaire en Égypte. En compagnie de maçons nubiens encore détenteurs de ces techniques, il mit au point un type d'habitat simple et économique, réalisé à sec, sans mortier ni cintres, couvert de voûtes et de coupoles faites de briques de terre crue allégée par un mélange de paille.

Si le succès de cette architecture ne se fit pas attendre parmi ses amis ni dans le milieu des intellectuels cairotes, les responsables de l'habitat social du pays ne se précipitèrent pas pour l'adopter, malgré ses indéniables qualités architecturales, son faible coût et sa bonne adaptation au climat égyptien. Il fallut attendre la renommée internationale que lui valurent ses projets pour que le département des Antiquités confie à Hassan Fathy le projet de Gourna el-Gedida, un village qu'il créa de toutes pièces sur la rive droite du Nil, en face de Louqsor. L'objectif de cette opération était de reloger les habitants du vieux village de Gourna, traditionnels pilleurs de tombeaux que le gouvernement égyptien voulait déplacer pour mettre un frein à leur activité ancestrale remontant à l'époque des pharaons.

Construit en 1948, restauré en 1983, le village de New Gourna constitue un véritable manifeste en faveur de l'architecture vernaculaire que Hassan Fathy a promue toute sa vie. Aux yeux de l'architecte, ce n'était pourtant là qu'une première étape vers une réponse globale à la réalisation d'un habitat dont le matériau de base fût disponible à l'infini, et la main-d'œuvre gratuite puisque composée des futurs habitants eux-mêmes. Dans son ouvrage de référence *Construire avec le peuple*, Fathy s'interroge : « Que possèdent donc les architectes nubiens que nos architectes n'ont pas ? D'abord une technique, celle des voûtes en briques de boue, cela supprime les frais, leur permet de construire une maison entière, toit et murs, sans dépenser d'argent. Ils ont aussi un système coopératif dans leur vie de tous les jours : lorsqu'une maison doit être construite tous les voisins viennent aider et il n'est pas question de louer ou de payer les ouvriers⁶². »

Malgré sa notoriété mondiale, Hassan Fathy – Hassan Bey, ainsi que l'appelaient ses disciples, qui se pressaient pour l'écouter à l'heure du thé dans sa maison cairote – fut mal accepté par l'establishment architectural de son pays et le nombre de ses réalisations est relativement modeste. Il a néanmoins influencé de nombreux architectes de par le monde.

La Dymaxion House de Buckminster Fuller

C'est en se référant à l'exemple de l'automobile et aux avantages économiques de la production de masse que Buckminster Fuller établit les principes de la maison Dymaxion. La construction artisanale de maisons individuelles était, selon lui, une absurdité économique, qui n'apportait par ailleurs aucune plus-value qualitative. Si on fabriquait les automobiles comme on construit les maisons, avait-il coutume de dire, elles coûteraient tellement cher que personne ne pourrait en acheter ! Ni la standardisation ni la répétition ne constituaient selon lui un handicap : le design industriel, l'édition (quoi de plus prisé qu'un best-seller !), la nature elle-même, montrent que ces notions sont facilement acceptées. Pourquoi pas aussi pour les maisons ?

Buckminster Fuller dessina la première Dymaxion House en 1929. Il s'agissait d'une maison circulaire en aluminium, donc très légère. Elle était surmontée d'un dôme soutenu par un noyau central contenant les équipements sanitaires. Sur le plan technique, c'était une demeure extrêmement sophistiquée. Une source lumineuse unique éclairait l'ensemble des espaces grâce à un jeu de miroirs. Le chauffage bénéficiait d'une bonne régulation grâce à

⁶² Hassan Fathy, *Construire avec le peuple : histoire d'un village d'Égypte : Gourna*, trad. de l'anglais par Yana Kornel, Paris, 1970, p. 208.

la compacité de l'édifice. La bibliothèque était conçue à la fois comme une salle multimédia – innovation de taille pour l'époque – et comme le centre névralgique de la maison. Cette première version de la Dymaxion House ne vit cependant pas le jour, car sa réalisation nécessitait des techniques très innovantes qui auraient entraîné des coûts de développement trop élevés. À la demande de l'armée de l'air américaine, le projet fut repris pendant la Seconde Guerre mondiale et réalisé dans une version simplifiée pour abriter des équipages débarqués dans des pays lointains au climat particulièrement rude : plusieurs centaines de DDU – Dymaxion Deployment Units – furent ainsi construites dans diverses régions du Pacifique et du golfe Persique.

Après la guerre, Buckminster Fuller profita de cette expérience pour concevoir un nouveau modèle de maison, qu'il appela Wichita Dymaxion Dwelling Machine. Mise au point selon les techniques aéronautiques les plus sophistiquées de l'époque en collaboration avec le célèbre constructeur d'avions Beechcraft, la Wichita House pesait moins de 3 tonnes et était très économique – son coût, disait Buckminster Fuller, était celui d'une automobile de luxe. Elle pouvait être montée en deux jours. Elle reprenait le principe d'une toiture en forme de dôme soutenue par un mât central et surmontée d'un système de captage d'air facilitant la ventilation naturelle de l'ensemble de l'espace intérieur. Cette dernière version resta également à l'état de prototype.

La sacralisation de l'espace domestique

« La maison est un coin du monde », déclarait Bachelard⁶³. Et si toute maison est une image du monde, on peut en dire autant de la ville, dont la maison est le microcosme⁶⁴. « Le cœur sera donc la partie principale de la maison vers laquelle toutes les autres parties, moins importantes, convergent comme vers une place publique⁶⁵ », écrivait Alberti. La maison permet aussi à son occupant de s'identifier à son environnement géographique, culturel, économique et social. Elle affiche son statut, sa personnalité, sa place au sein du groupement humain auquel il appartient. C'est vrai des palais et des châteaux de toutes les époques, de la villa palladienne et de ses innombrables avatars, mais aussi de la villa bourgeoise du XIX^e siècle et, pourquoi pas, du pavillon néorural qui gangrène les extensions des métropoles contemporaines. La maison est enfin un espace privé, introverti, centré sur des activités domestiques. Elle protège des nuisances extérieures et des dangers de la vie collective. Elle est un lieu de rencontres et le pivot de la vie familiale et sociale. C'est donc à la fois un refuge refermé autour du foyer et un organisme vivant ouvert sur le monde. La maison pompéienne, composée d'une succession d'espaces publics et privés, était centrée sur un atrium qui la mettait en communication avec la voûte céleste. La *hall house* nordique, avec sa vaste pièce centrale surmontée d'une charpente impressionnante, bénéficie d'une réelle monumentalité intérieure. L'espace de réception de la maison ottomane, ou *qa'a*, affichait aussi un caractère monumental par sa taille, son plan carré, sa position centrale sur deux axes de symétrie et sa fonction de représentation publique. D'abord situé à l'air libre, décoré d'un bassin central, il fut ultérieurement recouvert, le plus souvent d'une coupole.

Pour exprimer la double identité, publique et privée, de son occupant, la maison se doit de présenter des signes distinctifs. Ce sont des portiques, des axes de symétrie, des toitures, des matériaux, des couleurs, qui, pour être lisibles par la collectivité, sont généralement empruntés au vocabulaire traditionnel de l'architecture monumentale, profane ou sacrée. Parmi ces signes de reconnaissance, la coupole a tenu une place essentielle, en particulier après que Palladio eut conçu sa dernière villa, la Rotonda, près de Vicence. Non seulement la coupole de la Rotonda témoigne de « l'érudition classique et [de] l'affiliation religieuse⁶⁶ »

⁶³ Gaston Bachelard, *La Poétique de l'espace*, Paris, 1957, p. 24.

⁶⁴ Voir M. Eliade, *Traité d'histoire des religions*, op. cit.

⁶⁵ Leon Battista Alberti, *De re aedificatoria*, V, 17, 1485.

⁶⁶ Voir James S. Ackerman, *L'Architecture de Michel-Ange*, Paris, 1991.

du premier propriétaire des lieux, le prélat pontifical Paolo Almerico, mais elle constitue l'élément central d'un édifice ouvert par quatre portiques sur le vaste paysage qui l'entoure, « l'un des plus plaisants et agréables qui puissent se trouver », selon Palladio lui-même⁶⁷. Elle renoue avec la tradition en vigueur dans certaines villas romaines datant de l'Antiquité, où l'on privilégiait l'*otium*, l'art de reposer l'esprit et le corps en entretenant une relation étroite avec la nature et en s'adonnant à la contemplation de paysages⁶⁸. C'est au XVII^e siècle, grâce au succès des *Quatre livres* du maître vénitien, que l'architecture de Palladio se répandit en Europe. Et c'est principalement en Angleterre, où elle avait été introduite par Inigo Jones, que se développa au début du XVIII^e siècle un modèle de demeure connu sous le nom de villa palladienne. Celle-ci fut longtemps considérée comme un symbole de l'aristocratie terrienne britannique. En effet, elle était bien adaptée au mode de vie des classes supérieures, où l'on avait coutume de demeurer sur ses terres une bonne partie de l'année pour ne se rendre à Londres qu'à l'occasion de la saison parlementaire. La villa Mereworth, conçue par Colen Campbell en 1722, et la villa Chiswick, dessinée en 1725 par Richard Boyle, troisième comte de Burlington, sont inspirées directement de la Rotonda. De même que son modèle italien, la villa Chiswick est organisée autour d'une salle centrale surmontée d'une coupole.

Après l'Angleterre, les villas palladiennes furent imitées dans le monde entier. Lorsqu'il construisit sa villa de Monticello, en Virginie, durant le dernier quart du XVIII^e siècle, Thomas Jefferson s'inspira autant de cette tradition anglaise, dont il disait pourtant le plus grand mal, que de l'architecture française et d'une transcription rousseauiste de l'*otium* antique. La coupole dont il couronna Monticello faisait aussi référence, selon lui, à l'hôtel parisien de Salm (1790) – qui abrite aujourd'hui le palais de la Légion d'honneur –, pour lequel il éprouvait, semble-t-il, une admiration sans bornes.

Aux XVII^e et XVIII^e siècles, en France, en Allemagne et dans la plupart des pays européens, on avait aussi pris exemple sur les villas conçues par les Palladio, Peruzzi, Scamozzi et autres architectes italiens, mais on les avait interprétées différemment. Les coupoles, ici, abritaient les divertissements des innombrables propriétaires de châteaux baroques. L'utilisation ostentatoire de ces formes symboliques ordinairement réservées à une architecture plus monumentale témoignait du désir de sacraliser ces demeures aristocratiques. C'est au château de Vaux-le-Vicomte, dessiné par Louis Le Vau pour Nicolas Fouquet, le surintendant des Finances du jeune Louis XIV, que l'on situe l'origine de cette innovation. Comme posé sur une île entourée d'un large fossé, le château comprend deux corps de logis encadrés par quatre pavillons d'angle qui se répartissent de part et d'autre d'un axe central. Sur cet axe qui mène de la cour d'accès au jardin, Le Vau a placé un vestibule d'entrée surmonté d'une chapelle, puis un dôme d'inspiration italienne qui abrite le grand salon central. Alors que le salon des palais français traditionnels était constitué d'une galerie allongée couverte de poutres en bois – une organisation qui fut reprise à Versailles pour la galerie des Glaces –, Le Vau, à Vaux-le-Vicomte, a couvert le salon – dont le nom vient de l'italien *salone* – d'une charpente en forme de coupole, exprimant cette même volonté de sacralisation qui avait été celle d'Andrea Palladio à la villa Rotonda et dont Vincenzo Scamozzi s'était fait l'écho à la villa Rocca Pisana, également située près de Vicence. On peut imaginer que l'ire de Louis XIV envers son ministre ait été attisée par cette preuve d'orgueil éclatante qui anticipait les innombrables apothéoses dont les princes européens allaient orner tout au long du XVIII^e siècle les coupoles de leurs châteaux.

⁶⁷ Palladio, III, 19.

⁶⁸ Voir J. S. Ackerman, *L'Architecture de Michel-Ange*, op. cit.

La villa Rotonda, Vicence

C'est en 1566-1567, dans les environs de Vicence, que Palladio conçut pour Paolo Almerico, un prélat pontifical désireux de se retirer dans sa ville natale, la villa Rotonda. Dernière des villas dessinées par l'architecte, la Rotonda fut achevée après sa mort par Vincenzo Scamozzi. Le bâtiment est isolé au sommet d'une colline dans une mise en scène théâtrale. On y accède par quatre portiques précédés d'escaliers monumentaux situés aux quatre points cardinaux et ouvrant sur la campagne environnante. Son plan est organisé autour d'une grande salle circulaire surmontée d'un dôme. Les pièces contiguës à cette salle sont disposées sur deux niveaux, formant une base cubique qui crée une tension avec le volume hémisphérique de la coupole. La relation de l'édifice avec le paysage, ponctuée par les statues des acrotères et soulignée par les axes des portiques, accentue encore la théâtralité de l'ensemble.

La Rotonda est la seule villa de Palladio à avoir un plan centré et à être couronnée d'une coupole. Jusque-là, l'architecte avait réservé les coupoles aux édifices sacrés. La rotonde de la villa est inspirée de celle du Panthéon : le profil de la calotte est surbaissé, son centre était initialement percé d'un oculus constituant le seul point de lumière naturelle de la salle, et son pavement, creusé pour permettre l'écoulement des eaux de pluie. Dans ses *Quatre livres d'architecture*, Palladio a reproduit les plans de la villa au chapitre consacré aux palais et dessiné un dôme beaucoup plus élevé que celui qui fut réalisé. On s'est longtemps interrogé sur les raisons de cette différence, et l'on s'est aussi demandé pourquoi Palladio avait choisi une solution qui réduisait la vision extérieure de la coupole. Il semble que l'architecte ait voulu privilégier les proportions intérieures de la salle centrale. Il est également probable qu'il ait rejeté pour des questions de coût le principe d'une double coupole qui lui aurait permis de rehausser l'ensemble.

Ce bâtiment formidablement admiré, largement imité, plagié même, est devenu l'icône d'une architecture domestique érigée en monument. Ses emprunts à l'architecture sacrée sous la forme d'un portique et d'une coupole, l'effet de théâtralisation produit par le parcours d'accès, les ouvertures sur le paysage et la centralité ont fasciné les architectes de l'Europe entière, et principalement ceux de Grande-Bretagne.

7. Performances

Le but est de couvrir un espace infiniment grand avec infiniment peu de matière [...] et de fournir des idées aux crétiens une vingtaine d'années plus tard.

Robert Le Ricolais (1894-1977)

Un savoir-faire de pointe

La coupole du mausolée de Théodoric, le roi des Ostrogoths, mort en 526, est taillée dans un unique bloc de pierre calcaire de 33 mètres de diamètre et d'un poids approchant les 300 tonnes. En provenance d'Istrie, de l'autre côté de la mer Adriatique, l'énorme masse fut convoyée à Ravenne entre deux bateaux et hissée sur les murs circulaires de l'édifice selon un procédé sans doute proche de celui adopté par les bâtisseurs de dolmens. Quelles furent les raisons qui poussèrent Théodoric à accomplir une performance aussi invraisemblable ? On sait qu'il voulait imposer un retour de l'Empire romain en Occident, dont le centre devait être Ravenne, port bien situé aux confins des deux empires et protégé des attaques terrestres par les terrains marécageux dont il était entouré. Par cette prouesse sans précédent, le roi pourrait avoir cherché à signifier symboliquement sa volonté. La construction des coupoles, emblèmes de pouvoir, a souvent été l'occasion de tels défis, nécessitant des moyens importants, mobilisant des savoir-faire sophistiqués et exigeant un renforcement du savoir par le pouvoir, et réciproquement. Aussi n'est-il pas rare, quand un pouvoir s'effondre, que les savoirs disparaissent avec lui et que les savoir-faire tombent dans l'oubli, parfois pendant des siècles.

Les prouesses longtemps inégalées que représentent la coupole du Panthéon et celle de Sainte-Sophie ont nécessité un apprentissage laborieux ainsi qu'une longue et difficile expérimentation, débouchant parfois sur des échecs, exceptionnellement sur la réussite. La coupole de Sainte-Sophie, orgueil de Justinien, ne s'est-elle pas effondrée sous l'effet d'un séisme cinq ans seulement après sa construction ? Le transfert de technologies, selon l'expression actuelle, a tenu une part essentielle dans cette lente initiation : les bâtisseurs romains ont beaucoup appris des maçons moyen-orientaux, les byzantins, des architectes perses. Dans le cas de Sainte-Sophie, les architectes sont allés jusqu'à Rhodes trouver des briques le plus légères possible pour réduire le poids de la coupole. Eudes de Metz a étudié ses modèles en Italie afin de concevoir pour Charlemagne la chapelle Palatine. La coupole de San Vitale met en jeu une technique de tubes en céramique emboîtés et assemblés au mortier de chaux que les Romains avaient mise au point en Afrique. Quant aux briques employées dans cette même coupole, elles sont de type byzantin, alors que les modes d'assemblage sont empruntés à des techniques de maçonnerie locales.

Longtemps, les techniques nécessaires à la construction des coupoles ont été le fruit de démarches empiriques, ce qui permettait du même coup d'entretenir les savoir-faire, de les améliorer et de les perfectionner. Chaque expérience était évaluée, chaque choix s'inscrivait dans une stratégie. Lors de la réalisation du Panthéon, les architectes d'Hadrien ont adapté le dosage du béton aux différentes étapes de sa mise en œuvre. Les fondations et le cylindre vertical sont constitués de pierres de travertin, un matériau très dense ; le premier anneau de la coupole comporte de la brique, moins lourde, les suivants, un mélange de brique et de tuf poreux, et la zone entourant l'oculus, des roches volcaniques très légères. On notera avec quelle rapidité les architectes romains ont mis au point cette technique : la construction du Panthéon date de 118-125 après J.-C., alors que les premières coupoles significatives édifiées par leurs prédécesseurs l'avaient été dans la région de Naples au milieu du 1^{er} siècle, soit à peine quelques décennies plus tôt.

La construction des coupoles de Brunelleschi à Florence, de Michel-Ange à Rome, de Philibert De l'Orme en France puis de Christopher Wren en Angleterre a donné lieu à une

vaste collecte de savoir-faire anciens, auxquels ont été associées des inventions nouvelles, parfois révolutionnaires. Brunelleschi a dû beaucoup innover pour pouvoir réaliser la coupole de Santa Maria del Fiore et sa lanterne. Qu'il s'agît d'organiser son chantier, de proposer de nouveaux outils de levage ou, surtout, de définir le profil de la coupole, la plupart de ces innovations ont été le fait de son intuition. Au début du xv^e siècle, en effet, on ne disposait que de connaissances très approximative pour évaluer les charges portées et transmises par les éléments verticaux, ou pour dimensionner les fondations, les linteaux, les poutres, les arcs et les nervures. Un siècle plus tard, les croquis architecturaux, ceux de Léonard de Vinci, par exemple, qui était un fervent admirateur de la coupole florentine, montrent de quelle façon les expériences étaient imaginées, observées, représentées, puis partagées. Il fallut attendre encore près d'un siècle pour que les ingénieurs fussent en mesure de calculer les structures de leurs ouvrages avant de les construire, fruit des méthodes scientifiques issues des *Discours* de Galilée, de l'expérience acquise grâce à l'ingénierie militaire et des progrès accomplis dans le domaine des mathématiques. À partir du xvii^e siècle, les sciences de la mécanique, de la résistance des matériaux et du comportement des structures contribuèrent de façon décisive à améliorer la conception des édifices ainsi que leurs performances structurelles.

La chapelle du château d'Anet

Après avoir fait ses premières armes à Lyon sur les chantiers de son père, Philibert De l'Orme entreprit très jeune un voyage en Italie, de 1533 à 1536. Il s'initia à l'architecture dès l'âge de dix-neuf ans, effectuant des relevés des œuvres de Brunelleschi, Bramante, Sangallo le Jeune et Michel-Ange. Grâce à cette formation technique de base imprégnée de culture italienne, il sut assimiler les savoir-faire issus de la tradition gothique et les adapter à une nouvelle logique de projet, plus précise mais aussi plus complexe. Pour montrer à quel point ce mélange de savoirs transformait le statut du maître d'œuvre, il rédigea un traité en neuf livres intitulé *L'Architecture*, inspiré d'Alberti, qu'il entreprit de publier à partir de 1567, trois ans avant sa mort⁶⁹. Ce texte posait en France les fondements d'une culture architecturale nouvelle, appuyée sur des connaissances approfondies de la géométrie et sur des modes de représentation qui marquaient une rupture radicale par rapport aux pratiques antérieures.

En 1545, De l'Orme venait tout juste d'achever le château de Saint-Maur pour le cardinal du Bellay quand Henri II lui confia la réalisation du château d'Anet, destiné à sa maîtresse Diane de Poitiers. Celui-ci fut achevé en 1554, et sa chapelle consacrée peu après. Avec cette œuvre, Philibert De l'Orme introduisait dans l'architecture française le thème de la coupole, qu'il avait découvert en Italie. La coupole de la chapelle d'Anet représente un exploit en matière de géométrie et de stéréotomie⁷⁰. Ici, De l'Orme réhabilite la voûte romane, qu'il substitue à la voûte nervurée gothique alors en vigueur. La coupole hémisphérique, surmontée d'une lanterne, est inspirée, pour l'extérieur, du « tempietto » de Bramante à Rome. Mais son intérieur montre une disposition extrêmement ingénieuse qui rappelle la division de la voûte du Panthéon. Toutefois, alors que les caissons du Panthéon sont divisés horizontalement et verticalement, De l'Orme a dessiné ceux de la chapelle d'Anet selon une trame orientée à 30° par rapport aux joints horizontaux, créant un entrelacs de nervures en losange qui semble s'élever vers le sommet de la coupole, éclairée par l'oculus d'une lanterne. Cette trame décorative forme un véritable trompe-l'œil qui désoriente le visiteur et l'incite à se rapprocher du centre de l'édifice pour en découvrir la simplicité géométrique. Elle produit à l'intérieur de la chapelle, qui est relativement petite,

⁶⁹ Voir Philibert de L'Orme, *Traité d'architecture...*, présentés par Jean-Marie Pérouse de Montclos, Paris, 1988. Voir aussi Anthony Blunt, *Philibert de l'Orme*, Londres, 1958.

⁷⁰ « Stéréotomie : art de tracer les formes à donner aux pierres en vue de leur assemblage » (Jean-Marie Pérouse de Montclos, *Architecture*. [1], *Vocabulaire*, Paris, 1972, p. 45).

un effet de verticalité inattendu. Le dessin du dallage, projection orthogonale des caissons de la voûte, accentue encore cette impression.

Le planétarium Zeiss, Iéna

Le béton armé, mis au point dans le courant du XIX^e siècle par des ingénieurs français tels que Vicat, Hennebique, Coignet ou Lambot, a atteint sa maturité technique au cours de la première moitié du XX^e siècle lorsque le développement de voiles minces, c'est-à-dire de structures courbes de faible épaisseur et fortement armées, permit de réaliser des voûtes à grande portée, légères et économiques. Bientôt, le béton précontraint autorisa des coques minces aux profils géométriques de plus en plus complexes, comme celles qui furent à l'origine des célèbres exploits de Robert Maillart en Suisse, d'Eugène Freyssinet en France, de Pier Luigi Nervi en Italie ou d'Eduardo Torroja en Espagne.

Le modèle de la coupole, forme architecturale traditionnellement réalisée en maçonnerie, que la technique de l'ossature en acier avait récemment reprise et adaptée, pouvait désormais être transposé avec succès en voiles minces de béton. L'une des premières réalisations significatives de ce type se trouve en Allemagne. Il s'agit d'un planétarium destiné à la société Zeiss construit en 1926 à Iéna par l'entreprise Dywidag, qui avait acheté le brevet d'un système de voile mince mis au point par un ingénieur français du nom de Monier. Sa voûte hémisphérique, qui mesure à peine 6 centimètres d'épaisseur pour 25 mètres de diamètre, est armée d'un treillis de barres métalliques assemblées en triangle qui lui donne sa forme et sa rigidité. Dywidag a construit plusieurs coupoles de ce type dans d'autres villes d'Allemagne pour y abriter des planétariums.

Une structure idéale

Si les architectes de toutes les époques ont été fascinés par l'espace intérieur des coupoles, ce type d'ouvrage leur a aussi posé maints problèmes techniques autour desquels ils ont dû mobiliser de multiples compétences. « La plupart des gens n'imaginent pas un bâtiment sous une autre forme que celle d'un cube, et pourtant, structurellement, le cube n'est pas stable du tout. Ses angles sont complètement instables⁷¹ », disait volontiers l'Américain Buckminster Fuller. Du strict point de vue de la physique statique, il est effectivement beaucoup plus logique de construire une voûte hémisphérique qu'une structure orthogonale. De plus, la coupole permet d'utiliser un seul et unique matériau pour l'ensemble de l'enveloppe de l'édifice, ce qui a pour conséquence d'éliminer la rupture traditionnelle entre la partie verticale des bâtiments – la façade – et leur toiture. Il s'agit là d'un vieux rêve qui appartient à la mythologie de l'architecture, mais aussi d'une réflexion pragmatique sur l'économie de la construction, dans la mesure où cette rupture entre le plan horizontal et le plan vertical est source de surcoûts et d'éventuelles malfaçons.

Les ingénieurs ont longtemps cherché la forme idéale à donner à la coupole. Devait-elle être hémisphérique, comme le souhaitaient nombre d'architectes pour des raisons formelles et symboliques ? Ou se rapprocher de l'ogive, comme certains bâtisseurs l'avaient intuitivement pressenti ? Cette dernière solution fut celle choisie par Brunelleschi, mais aussi par les maçons nubien redécouverts par Hassan Fathy ou encore par les indigènes Musgums du nord du Cameroun, dont Eduardo Torroja évoque les cases en terre crue⁷², passées à la postérité sous le nom de « cases obus » et qu'André Gide taxait d'étrangeté ? Ce n'est que près de deux siècles après la construction de la coupole de Santa Maria del Fiore que débuta l'étude scientifique de la résistance des matériaux et du

⁷¹ Cité in Robert Snyder (éd.), *Buckminster Fuller, An Autobiographical Monologue/Scenario*, New York, 1980, p. 117.

⁷² Eduardo Torroja Miret, *Razon y Ser de los tipos estructurales*, Madrid, 1998, p. 130.

comportement des structures. Les architectes responsables de l'entretien de la coupole florentine y repèrent des fissures verticales qui étaient sans doute apparues peu de temps après sa construction. On fit la même découverte en inspectant celles du Panthéon et de la basilique Saint-Pierre de Rome. L'ingénieur Giovanni Poleni, chargé d'inspecter la coupole de Saint-Pierre, fit des relevés précis de ces fissures, qu'il publia en 1748 dans ses *Memorie istoriche della gran cupola del tempio vaticano*, et procéda aussi à des observations sur la coupole de Florence. Pour déterminer les raisons de ces altérations, il utilisa un modèle mathématique qui devait connaître par la suite un succès considérable sous le nom de *chaînette* ou de *polygone funiculaire*. La chaînette est la courbe que forme naturellement, du fait de son propre poids, une corde (ou une chaîne) suspendue entre deux points situés sur un plan horizontal ; en retournant cette courbe, on obtient le tracé d'une voûte proche de la parabole. Cent cinquante ans plus tard, Gaudí allait observer ce type de courbe pour mettre au point la courbure des voûtes de la Sagrada Família et de la Colonia Guëll, à Barcelone. Le modèle de la chaînette n'était pas une nouveauté pour Poleni. L'Anglais James Stirling, qu'il cite dans ses écrits, l'avait déjà défini en 1717 dans son *Lineae tertii ordinis Newtonianae*. Longtemps auparavant, il avait été adopté intuitivement par de nombreux bâtisseurs, en Perse notamment. Mais Poleni fit l'hypothèse que la courbe de la chaînette représentait le profil idéal pour une voûte, celui où le poids imposait le moins de contraintes, par conséquent le moins de déformations. Plus les voûtes s'écartent de la chaînette, concluait-il, plus elles risquent de s'effondrer. La raison pour laquelle la voûte parfaitement hémisphérique du Panthéon a résisté aux contraintes dues à son poids tient à l'épaisseur de ses contreforts. Celle de Sainte-Sophie, également hémisphérique, a aussi survécu parce que sa courbure se termine avant d'atteindre l'angle critique de 40° au-delà duquel les contraintes horizontales deviennent trop importantes. En superposant une chaînette au profil des deux coupôles qu'il étudiait, Poleni démontra que la forme de la coupole florentine n'en était pas très éloignée, ce qui lui assurait une bonne stabilité. Ce n'était en revanche pas le cas, jugeait-il, de la coupole de Saint-Pierre réalisée par Giacomo Della Porta, qui, selon lui, risquait de s'effondrer. En réalité, la présence de la double coque rendait la chose improbable, mais la coupole fut tout de même renforcée par cinq anneaux métalliques qui la ceinturent encore aujourd'hui. Le principe consistant à donner au profil d'une coupole une courbure proche de la parabole était désormais acquis et validé scientifiquement.

Tout au long des XIX^e et XX^e siècles, le développement des structures en acier et l'utilisation de nouveaux matériaux de couverture, et plus particulièrement du verre, ont bouleversé de façon spectaculaire les modes de conception et la forme architecturale plusieurs fois centenaire des coupôles. Leur légèreté a en effet autorisé les concepteurs à s'affranchir du modèle classique, limité par les performances des techniques de maçonnerie : désormais, le poids de n'importe quelle coupole conçue en structure légère représentait moins du dixième de celui de la coupole du Panthéon. La course à la performance était relancée sur de nouvelles bases. La halle aux blés de Paris, dont la coupole en bois avait brûlé en 1802, fut reconstruite dès 1806, en fonte, fer et verre, selon une technique encore proche de celle des charpentes en bois. Cette première réalisation, d'un diamètre de 39 mètres, servit de modèle à de nombreux édifices publics, en France et en Angleterre, et devint le point de départ d'une nouvelle typologie de bâtiments à plan centré.

Dans les années 1920, sous l'impulsion d'ingénieurs ou d'architectes tels que Mario Nervi en Italie ou Eugène Freyssinet en France, les voiles minces en béton s'imposèrent à leur tour comme une alternative aux charpentes métalliques. Des innovations remarquables, parmi lesquelles on peut citer le procédé Zeil-Dywidag, permirent la construction de coupôles comme celles du planétarium Zeiss de Iéna, en 1926, et des marchés de Leipzig et de Bâle, en 1929. Plus récemment, les structures tridimensionnelles en acier ou en aluminium, les membranes en textiles synthétiques, les structures gonflables, les structures tendues ont permis d'accomplir de nouvelles performances.

Le dôme de la cathédrale Saint-Paul, Londres

Après de brillantes études en astronomie, optique et géométrie, Christopher Wren, né en 1632 dans le Wiltshire, se tourna vers l'architecture. Dès 1661, il conseillait le chapitre et son doyen à l'occasion de la restauration de la vieille cathédrale Saint-Paul à Londres. C'est lors d'un voyage qu'il effectua à Paris, en 1665, et au cours duquel il rencontra plusieurs architectes français et italiens, parmi lesquels Bernin, qu'il s'initia à la construction des coupes, qui n'existaient pas encore en Angleterre.

En septembre 1666, le grand incendie de Londres, rendit nécessaire l'édification d'une nouvelle cathédrale, pour laquelle Wren avait d'ailleurs proposé un projet un mois avant le sinistre. Il ne s'agissait alors que de poursuivre la restauration commencée une trentaine d'années plus tôt par Inigo Jones et de remplacer l'ancienne tour gothique de l'église par un dôme. Bien entendu, Wren transforma son projet à la suite de l'incendie, mais il conserva le principe du dôme. Cinq études et neuf années lui furent nécessaires pour parvenir au projet définitif. L'édifice ne devait être achevé que trente-cinq ans plus tard, en 1710.

Le dôme de Saint-Paul est bâti sur un modèle comparable à celui des Invalides, à Paris. Wren avait peut-être rencontré Hardouin-Mansart lors de son voyage en France, et il ne fait aucun doute qu'il avait pris connaissance de ses travaux. Pourtant, le dôme londonien diffère du parisien pour ce qui est des proportions et du mode de construction. On a pu tout au plus leur attribuer une filiation commune avec la rotonde des Valois que Hardouin-Mansart avait conçue pour la basilique de Saint-Denis et qui ne fut jamais réalisée. Le tambour de Saint-Paul est composé d'une colonnade qui lui confère une régularité classique dont son homologue français est dépourvu. La voûte intérieure, inspirée de celle de Bramante pour la basilique Saint-Pierre, est hémisphérique. Elle soutient un dôme en charpente de bois recouvert de plomb. La lourde lanterne qui surmonte l'édifice s'appuie sur un cône proche de la parabole en brique qui s'intercale entre le dôme et la coupole.

Le projet intermédiaire, que Wren avait présenté en 1673 sous la forme d'une grande maquette en bois inspirée de la basilique de Michel-Ange pour Saint-Pierre, avait été refusé par le clergé au motif qu'il ne ressemblait pas suffisamment à une cathédrale. Pourtant, il était sans doute plus réussi que celui qui fut réalisé, objet de compromis à la suite d'interminables négociations. Malgré ses défauts d'articulation avec la nef, le dôme de Saint-Paul reste un archétype que les architectes anglo-saxons allaient reproduire sur tous les continents pour abriter toutes sortes d'activités civiles ou religieuses.

Richard Buckminster Fuller

L'architecte américain Richard Buckminster Fuller fut le grand pionnier de la construction des dômes géodésiques. La technique qu'il a mise au point repose sur l'utilisation de structures légères en acier et Duralumin. Son premier projet date de 1928. Il s'agit d'une habitation qu'il baptisa Dymaxion et qui ne dépassa pas le stade du prototype, bien qu'il ait envisagé de la produire industriellement en grande série. L'automobile Dymaxion, qu'il inventa peu après selon un principe similaire, n'eut guère plus de succès : seuls trois exemplaires en furent fabriqués.

C'est en 1954 que Buckminster Fuller déposa le brevet d'un dôme géodésique qu'il réalisa à plus de trois cent mille exemplaires pour abriter toutes sortes d'activités militaires, sportives, commerciales, industrielles et autres. La plus grande de ces réalisations, d'un diamètre de 118 mètres, fut construite en 1958 à Baton Rouge, en Louisiane. Elle renferme l'atelier de réparations de la Union Tank Car Company. La plus célèbre, d'un diamètre de 76 mètres, est celle du pavillon des États-Unis à l'Exposition universelle de Montréal en 1967. Il s'agit d'un ouvrage composé de treillis autotendus en acier que Buckminster Fuller avait fait breveter en 1962. Ce type de structure est constitué d'un ensemble de câbles et de barres en acier articulés formant un tout stable et autoportant. Le grand dôme transparent du

pavillon de Montréal contenant une carte du monde animée présentant les conséquences des activités humaines sur l'économie et l'environnement.

En 1964, Buckminster Fuller conçut une immense coupole de 3 kilomètres de diamètre destinée à recouvrir tout un quartier de Manhattan. Cette utopie faisait suite à un pavillon construit en 1954 pour une foire botanique à Saint Louis, dans le Missouri, et composé d'un treillis d'aluminium de 30 mètres de diamètre recouvert de Nylon néoprène transparent. Ce dôme, intitulé Climatron, favorisait les apports solaires et un refroidissement par convection, ce qui lui conférait une excellente qualité thermique. Bien entendu, le projet de Manhattan ne vit pas le jour, mais un collaborateur de Buckminster Fuller, l'architecte anglais Norman Foster, en reprit l'idée pour le Climatooffice, qui consistait également à coiffer d'une vaste coupole plusieurs immeubles de bureaux.

Prouesses techniques

Grâce aux progrès techniques accomplis sur les matériaux modernes, grâce aussi aux recherches menées par quelques ingénieurs et architectes pionniers en la matière, les voûtes en général et les coupoles en particulier ont atteint tout au long du XX^e siècle des dimensions exceptionnelles. Avec des portées de plus de 200 mètres de diamètre, ces dômes – stades, pavillons d'expositions universelles, ateliers, aéroports, etc. – abritent des activités auxquels la société accorde aujourd'hui une importance de premier plan. Des laboratoires de recherche se sont penchés sur ces nouvelles morphologies, ont exploré des voies d'étude inédites combinant raisonnements mathématiques et calcul structurel, et ont expérimenté de nombreuses techniques industrielles.

S'inspirant des formes organiques issues du monde végétal ou animal, les ingénieurs modernes en ont déduit de nouveaux types de structure circulaire. Dès 1928, Buckminster Fuller a proposé de réaliser des dômes à partir de la figure du cuboctaèdre, ou cube tronqué. Il a comparé cette forme aux structures de base de la nature, présentes dans ce qu'il a appelé la géométrie énergétique. Le cuboctaèdre comporte quatorze faces, dont six carrées et huit triangulaires, et une forme permettant, selon lui, d'obtenir un maximum de volume pour un minimum de matériau. Buckminster Fuller a également mis au point ses dômes géodésiques en étudiant l'icosaèdre régulier, un polyèdre dont les vingt faces sont autant de triangles équilatéraux égaux.

Fondant leurs déductions sur d'autres principes, l'architecte Frei Otto et son équipe Biologie und Bauen, installée à Stuttgart et composée de mathématiciens, de physiciens et de chimistes, ont longuement étudié la déformation des bulles de savon avant d'élaborer leurs structures gonflables ou tendues. Le Français Robert Le Ricolais, s'inspirant des ouvrages de morphologie d'Édouard Monod-Herzen (1927) et de planches illustrées du zoologiste Ernst Haeckel (1887), a travaillé sur la structure interne des radiolaires, des protozoaires marins qui, selon lui, constituent un « prodigieux répertoire de formes et de thèmes constructifs [et] déploient une variété d'artifices techniques qui dépassent, et de beaucoup, notre technologie actuelle⁷³ ». C'est à partir de leur observation qu'il a conçu le dôme paraboloidal Trihex qui recouvre le stade de Philadelphie.

Des recherches industrielles ont également porté sur les matériaux permettant d'accroître la solidité et la légèreté de ces structures. Grâce aux composites, aux bétons et aux aciers à haute performance, on a pu fabriquer des structures hybrides plus complexes associant un plus grand nombre de matériaux. Les membranes textiles ont aussi joué un rôle décisif dans cette évolution, autorisant le développement de peaux légères, flexibles, solides et de grandes dimensions. Ces matières extrêmement résistantes, réalisées pour l'essentiel en

⁷³ Cité in Marc Mimram, *Structures et formes : étude appliquée à l'œuvre de Robert Le Ricolais*, Paris, 1983, p. xxx.

PVC, en fibre de verre ou en film métallique, ont été progressivement mises au point pendant la seconde partie du xx^e siècle, et leur utilisation est aujourd'hui généralisée.

Ces matériaux ont été à l'origine de nouvelles performances. Les *structures légères*, qui ont pris un immense essor au cours du xx^e siècle, apportent généralement une réponse adaptée aux enjeux contemporains, que ceux-ci soient d'ordre fonctionnel, économique ou écologique, et peut-être symbolique. Les structures en treillis métalliques ou en réseaux de câbles permettent de fabriquer des coupoles aux formes très surbaissées et aux portées impressionnantes. Les *dômes géodésiques* sont les réalisations contemporaines les plus répandues. Depuis 1949, Buckminster Fuller, à lui seul, est à l'origine de plusieurs centaines de milliers d'exemplaires de ces dômes, réalisés au moyen de matériaux et de techniques très divers et destinés à de multiples usages. L'armée américaine, en particulier, les considérait comme « la première véritable amélioration dans le domaine des abris mobiles militaires en deux mille six cents ans⁷⁴ ». Les *dômes autotendants* s'appuient sur le principe de *tenségrité*, terme inventé par Buckminster Fuller et ses élèves pour définir un mode de construction complexe à base de tubes rigides liés par des câbles métalliques tendus. L'ingénieur américain David Geiger s'est inspiré de cette technique pour réaliser de nombreux stades, par exemple celui de l'escrime et de la gymnastique aux jeux Olympiques de Séoul (1988), dont le diamètre est de 120 mètres. Le Georgia Dome, réalisé en 1992 à Atlanta par l'architecte Scott Braley (Heery International Inc.) et l'ingénieur Matthys Levy (Weidlinger Associates), constitue actuellement le record mondial utilisant cette technologie. Les *dômes gonflables* se sont généralisés après l'Exposition universelle d'Osaka, en 1970, où le pavillon des États-Unis conçu par David Geiger a fait sensation. Ils ont été utilisés principalement pour abriter des équipements sportifs et des installations culturelles, auxquels leur caractère éphémère ou amovible convenait particulièrement. Les coupoles pneumatiques, variantes des précédentes, sont des structures textiles dont seules les armatures sont gonflables.

Il semble que, grâce à leurs performances énergétiques, leur légèreté et la diversité de leurs utilisations, l'avenir de ces structures légères soit assuré. La course à la performance dont elles ont fait l'objet depuis près d'un siècle semble marquer le pas, ce qui conduit à s'interroger sur leurs évolutions futures et sur les utopies de leurs promoteurs, qui n'hésitent pas à proposer des structures urbaines et des biosphères éco-efficientes de taille gigantesque, quand ce ne sont pas des habitats extraterrestres.

Les dômes gonflables de David Geiger

L'Américain David Geiger est l'ingénieur qui inventa, avec son associé Horst Berger, un procédé d'enveloppes gonflables dérivant du principe de la montgolfière et du Zeppelin. Composées de membranes textiles raidies par des câbles d'acier, ces couvertures abritent de nombreux stades de par le monde, parmi lesquels l'Astrodome de Houston au Texas (1965), le Silverdome de Pontiac dans le Michigan (1973-1975), l'Akita Sky Dome à Tokyo (1990), l'Inland Revenue Center à Nottingham en Grande-Bretagne (1996) ou les arènes romaines de Nîmes en France. Gonflées de l'intérieur, ces structures sont extrêmement légères et permettent d'obtenir des grandes portées à un coût très réduit. La partie pneumatique est constituée d'un tissu de fibre de verre revêtu de vinyle, puis, depuis peu, de Téflon, deux matériaux mis au point par la Nasa pour la confection des vêtements des cosmonautes.

En 1970, David Geiger a conçu la couverture du pavillon des États-Unis pour l'Exposition universelle d'Osaka. Il s'agit d'une membrane de tissu de fibre de verre retenue, telle une montgolfière, par un réseau de câbles d'acier, et gonflée par quatre souffleries qui maintiennent la pression intérieure tout en assurant une bonne climatisation des espaces

⁷⁴ Cité in R. Snyder, *Buckminster Fuller...*, op. cit., p. 129.

d'exposition. Abrisant une surface de près de 10 000 mètres carrés, cette structure a été calculée pour résister aux typhons et aux tremblements de terre, et cela pour un coût relativement faible, deux fois moins élevé que celui du pavillon de Buckminster Fuller à Montréal. Cette technique a été rendue possible grâce au développement de méthodes sophistiquées de calcul numérique permettant de modéliser et d'optimiser les comportements de structures particulièrement exposées aux contraintes physiques et climatiques.

Pour les jeux Olympiques de Séoul en 1988, David Geiger, s'inspirant des modes de construction de Buckminster Fuller, a fait évoluer ses conceptions. La toiture qui abrite les deux stades n'est pas gonflable, elle est composée de toiles de fibre de verre revêtue de Téflon, tendues sur un réseau de câbles, un système peu coûteux que Geiger intitula Cable Dome et qui fut adopté pour la construction de nombreux stades nord-américains.

Bibliographie

Ouvrages généraux

CHOISY, Auguste, *Histoire de l'architecture*, Paris, vol. 2, Paris, 1899.

ERLANDE-BRANDENBURG, Alain, & MEREL-BRANDENBURG, Anne-Bénédicte, *Histoire de l'architecture française. Du Moyen Âge à la Renaissance, IV^e siècle – début XVI^e siècle*, Paris, 1995.

FOCILLON, Henri, *La Vie des formes* [1943], Paris, 1990.

NORBERG-SCHULZ, Christian, *La Signification dans l'architecture occidentale*, trad. de l'italien, Liège, 1977.

PEROUSE DE MONTCLOS, Jean-Marie, *Architecture. [1], Vocabulaire. Ministère des Affaires culturelles, Inventaire général des monuments et des richesses artistiques de la France*, Paris, 1972.

PICON, Antoine (dir.), *L'Art de l'ingénieur : constructeur, entrepreneur, inventeur*, Paris, 1997.

SMITH, E. Baldwin, *Architectural Symbolism of Imperial Rome and the Middle Ages*, Princeton, 1956.

—, *The Dome : a Study in the History of Ideas*, Princeton, 1971.

OTTO, Frei (dir.), *Seifenblasen : eine Forschungsarbeit des Instituts für Leichte Flächentragwerke über Minimalflächen = Forming bubbles : a research project of the Institute for Lightweight Structures on Minimal Surfaces*, Stuttgart, 1987.

Chapitre 1

COCHE DE LA FERTE, Étienne, *L'Art de Byzance*, Paris, 1981.

Diocletian's Palace : report on the joint excavations in Southeast quarter, Split, 1972.

ÉCOCHARD, Michel, *Filiation de monuments grecs, byzantins et islamiques : une question de géométrie*, Paris, 1977.

GHYKA MATILA, C., *Esthétique des proportions dans la nature et dans les arts*, Paris, 1927.

—, *Le Nombre d'or : rites et rythmes pythagoriciens dans le développement de la civilisation occidentale ; précédé d'une lettre de Paul Valéry*, Paris, 1931.

HAUTECŒUR, Louis, *Mystique et architecture. Symbolisme du cercle et de la coupole*, Paris, 1954.

Chapitre 2

CHASSAGNOUX, A., *L'Architecture voûtée iranienne*, thèse de doctorat, université de Nantes, 1996.

DESIDERI, Paolo, *Pier Luigi Nervi*, Zurich, 1979.

ROSINTAL, Josef, *L'Origine des stalactites de l'architecture orientale*, Paris, 1938 [1939].

—, *Pendentifs, trompes et stalactites dans l'architecture orientale*, Paris, 1928.

—, *Le Réseau, forme intermédiaire perse inconnue jusqu'à nos jours*, Paris, 1937.

ZORGNO, Anna Maria, « Les métaphores du béton armé », in *Les Annales de la recherche architecturale*, n° 29, « Culture constructive », 3^e trimestre 1992.

Chapitre 3

BURCKHARDT, Titus, *L'Art de l'islam : langage et signification*, Paris, 1985.

CRESWELL, K. A. C., *Early Muslim Architecture*, Oxford, 1932-1940, 2 vol.

GODARD, André, « Historique du Masdjid-é-djumâ d'Ispahan », in *Athar-é Iran, Annales du service archéologique de l'Iran*, t. 1 [fasc. 2], 1936, p. 213-277.

GOETZ, Hermann, *Inde : cinq millénaires d'art* [1960], trad. de l'anglais par Claudine Canetti, Paris, 1982.

GOSSET, Alphonse, *Les Coupoles d'Orient et d'Occident : étude historique, théorique et pratique*, Paris, 1889.

GRABAR, Oleg, *La Formation de l'art islamique*, trad. de l'anglais par Yves Thoraval, Paris, 2000.

—, *The Great Mosque of Isfahan*, New York, 1990.

—, *Penser l'art islamique : une esthétique de l'ornement*, Paris, 1996.

— (dir.), *Muqarnas, an annual on islamic art and architecture*, Cambridge, Massachusetts, vol. 3, 4, & 5, 1985, 1987, 1988.

HOAG, John D., *Architecture islamique*, trad. de l'anglais par Michel Waldberg & Louis Lecomte, Paris & Milan, 1991.

KUBAN, Dogan, *Muslim Religious Architecture*, Leyde, 1974-1985, 2 vol.

LOTH, Anne-Marie, *Art de l'Inde : diversité et spiritualité*, Paris & Bruxelles, 1994.

MARÇAIS, Georges, *L'Art musulman*, Paris, 1962.

MICHELL, George (dir.), *Architecture of the Islamic world : its history and social meaning, with a complete survey of key monuments*, Londres, 1978.

PORADA, Édith, *Iran ancien, l'art à l'époque préislamique*, Paris, 1963.

ROWLAND, Benjamin, *The Art and Architecture of India : Buddhist, Hindu, Jain*, Londres & Baltimore, 1953.

STIERLIN, Henri, *Ispahan : image du paradis*, Lausanne & Paris, 1976.

—, *Soliman et l'architecture ottomane*, Paris, 1985.

VOGÜE, Melchior de, *La Syrie centrale*, Paris, 1865-1877.

Chapitre 4

ALBERTI, Leon Battista, *L'Art d'édifier*, éd. par Pierre Caye & Françoise Choay, Paris, 2004.

—, *La Peinture : texte latin, traduction française, version italienne*, éd. de Thomas Golsenne & Bertrand Prévost, Paris, 2004.

ARGAN, Giulio Carlo, *Borromini*, Milan, 1955, trad. de l'italien par Claire Fargeot, Paris, 1996.

BECHMANN, Roland, *Les Racines des cathédrales : l'architecture gothique, expression des conditions du milieu*, Paris, 1981.

—, *Villard de Honnecourt : la pensée technique au XIII^e siècle et sa communication*, Paris 1991.

BIALOSTOCKI, Jan, *L'Art du XV^e siècle : des Parler à Dürer*, trad. de l'anglais et de l'italien par Pierre-Emmanuel Dauzat, Paris, 1993.

BLUNT, Anthony, *Art et architecture en France, 1500 to 1700*, trad. de la 4^e éd. anglaise par Monique Chatenet, Paris, 1983.

BURCKHARDT, Jacob, *La Civilisation de la Renaissance en Italie*, trad. par M. [Louis] Schmitt, Paris, 1860 ; nouv. éd., 1987.

CASTEX, Jean, *Renaissance baroque et classicisme : histoire de l'architecture, 1420-1720*, Paris, 1990.

CONANT, Kenneth John, *Carolingian and romanesque architecture 800 to 1200*, Harmondsworth, 1959.

DAVY, Marie-Madeleine, *Initiation à la symbolique romane : XI^e siècle* = nouvelle édition de *l'Essai sur la symbolique romane* [1955], Paris, 1977.

DOUAR, Fabrice, & WASCHEK, Matthias (dir.), *Borromini en perspective*, Paris, 2003.

FANELLI, G., & FANELLI, M., *La Coupole de Brunelleschi. Histoire et avenir d'une grande construction*, Florence, 2004.

FOCILLON, Henri, *Art d'Occident. Le Moyen âge roman et gothique*, Paris, 1938.

GUILLAUME, Jean (dir.), *Demeures d'éternité : églises et chapelles funéraires aux XV^e et XVI^e siècles ; actes du colloque tenu à Tours du 11 au 14 juin 1996*, Paris, 2005.

HIBBARD, Howard, *Le Bernin*, trad. par Françoise Marin, Paris, 1984.

JESTAZ, Bertrand, *L'Hôtel et l'église des Invalides*, Paris, 1990.

KRAUTHEIMER, Richard, *Early Christian and Byzantine Architecture*, Baltimore, 1965.

—, *Introduction à une « iconographie de l'architecture médiévale »*, trad. de l'anglais par Alix Girod, post-scriptum trad. de l'allemand par Michel Thévenaz, s. l., 1993.

KUBACH, Hans Erich, *Architecture romane*, trad. de l'allemand par Catherine Frantz & Patrick Lafourcade, Paris, 1981.

LAMBERT, Élie, *L'Architecture des templiers*, Paris, 1955, rééd. 1978.

MALE, Émile, *L'Art religieux du XIII^e siècle en France* [1898], Paris, 1958.

MURRAY, Peter, *L'Architecture de la Renaissance italienne*, trad. de l'anglais par Fabienne Poloni & Paul Rozenberg, Paris, 1990.

NORBERG-SCHULZ, Christian, *Architecture baroque et classique*, Paris, 1979.

PANOFSKY, Erwin, *Architecture gothique et pensée scolastique* [1951] ; (précédé de) *L'Abbé Suger de Saint-Denis*, trad. et postface de Pierre Bourdieu, Paris, 1967, rééd. 1974.

—, *La Mythologie classique dans l'art médiéval*, trad. de Sylvie Girard, Saint-Pierre-de-Salerno, 1990.

—, *La Perspective comme forme symbolique*, Paris, 1932.

SUMMERSON, John, *Le Langage classique de l'architecture classique*, Paris, 1981.

WITTKOWER, Rudolf, *Art et architecture en Italie : 1600-1750*, trad. de l'anglais par Claude Fritsch, Paris, 1991.

WÖLFFLIN, Heinrich, *Renaissance et baroque*, trad. de l'allemand par Guy Ballangé, Paris, 1988.

Chapitre 5

ACKERMAN, James S., *L'Architecture de Michel-Ange*, trad. de l'anglais par Mark K. Deming, Paris, 1991.

ADAM, Jean-Pierre, *La Construction romaine : matériaux et techniques*, Paris, 1984, 2^e éd. 1989.

ARGAN, Giulio Carlo, & CONTARDI, Bruno, *Michel-Ange architecte*, trad. de l'italien par Denis-Armand Canal, Paris, 1991.

BLONDEL, Jacques François, *Cours d'architecture enseigné à l'Académie royale d'architecture [1771-1777]*, Paris, s. d.

BOËTHIUS, Axel, & WARD-PERKINS, John B., *Etruscan and Roman architecture*, Harmondsworth, 1970.

CHOISY, Auguste, *L'Art de bâtir chez les Byzantins*, Paris, 1883.

CONANT, Kenneth John, *Carolingian and romanesque architecture 800 to 1200*, Harmondsworth, 1959.

DURLIAT, Marcel, *Des barbares à l'an mil*, Paris, 1985.

ÉLIADE, Mircea, *Traité d'histoire des religions*, Paris, Payot, 1949.

ERLANDE-BRANDENBURG, Alain, & MEREL-BRANDENBURG, Anne-Bénédictte, *Histoire de l'architecture française. Du Moyen Âge à la Renaissance, IV^e siècle – début XVI^e siècle*, Paris, 1995.

HAUTECŒUR, Louis, *Mystique et architecture. Symbolisme du cercle et de la coupole*, Paris, 1954.

LASSUS, Jean, *Sanctuaires chrétiens de Syrie, essai sur la genèse, la forme et l'usage liturgique des édifices du culte chrétien en Syrie, du III^e siècle à la conquête musulmane*, Paris, 1947.

LUIGI, Gilbert, *Oscar Niemeyer : une esthétique de la fluidité*, Marseille, 1987.

MURRAY, Peter, *L'Architecture de la Renaissance italienne*, trad. de l'anglais par Fabienne Poloni & Paul Rozenberg, Paris, 1990.

NIEMEYER, Oscar, & BAILBY, Édouard, *Niemeyer par lui-même : l'architecte de Brasilia parle à Édouard Bailby*, Paris, 1993.

SCULLY, Vincent, *American architecture and urbanism*, Londres, 1969.

STIERLIN, Henri, *Hadrien et l'architecture romaine*, Fribourg, 1984.

WARD-PERKINS, John B., *Architecture romaine*, trad. par Tadeusz Shops & Jean-Pierre Aniel, Paris, 1983.

Chapitre 6

ACKERMAN, James S., *La Villa : de la Rome antique à Le Corbusier*, trad. de l'anglais par Serge Séraudie & Muriel Goldrajch, Paris, 1997.

BALDWIN, J., *BuckyWorks : Buckminster Fuller's ideas for today*, New York, 1996.

BOUCHER, Bruce, *Palladio*, Paris, 1993.

COUCHAUX, Denis, *Habitats nomades*, Paris, 2004.

FATHY, Hassan, *Construire avec le peuple, histoire d'un village d'Égypte : Gournah*, trad. de l'anglais par Yana Kornel, Paris, 1969.

OLIVER, Paul, *Dwellings : the vernacular house world wide*, Londres, 2003.

PUPPI, Lionello, *Andrea Palladio*, Milan, 1999.

RYKWERT, Joseph, *La Maison d'Adam au Paradis*, traduit de l'anglais par Lucienne Lotringer, Paris, 1976.

WILLEMIN, Véronique, *Maisons mobiles*, Paris, 2004.

Chapitre 7

BLUNT, Anthony, *Philibert de l'Orme*, Londres, 1958.

BUCKMINSTER FULLER, Richard, *Your Private Sky : R. Buckminster Fuller Discourse*, éd. par Joachim Krausse & Claude Lichtenstein, Baden, 2001.

DOWNES, Kerry, *Sir Christopher Wren : the design of St. Paul's Cathedral : introduction and catalogue*, Washington, 1988.

KOCH, Klaus-Michael, & HABERMANN, Karl J., *Membrane structures : the fifth building material*, New York, 2004.

MIMRAM, Marc, *Structures et formes : étude appliquée à l'œuvre de Robert Le Ricolais*, Paris, 1983.

PAWLEY, Martin, *Buckminster Fuller*, Londres, 1990.

PICON, Antoine (dir.), *L'Art de l'ingénieur : constructeur, entrepreneur, inventeur*, Paris, 1997.

POTIE, Philippe, *Philibert de l'Orme : figures de la pensée constructive*, Marseille, 1996.

ROLAND, Conrad, *Frei Otto – Spannweiten : Ideen und Versuche zum Leichtbau ; ein Werkstattbericht*, Berlin, 1965.

SNYDER, Robert (éd.), *Buckminster Fuller, An Autobiographical Monologue/Scenario*, New York, 1980.

WHINNEY, Margaret, *Wren*, Londres, 1971.

ZORGNO, Anna Maria, « Les Métaphores du béton armé », in *Les Annales de la recherche architecturale*, n° 29, « Culture constructive », 3^e trimestre 1992.