Courbes rebelles

L'art des surfaces gauches en architecture

Léda Dimitriadi

Presses des Ponts

Courbes rebelles

L'art des surfaces gauches en architecture

Léda DIMITRIADI

Presses des Ponts

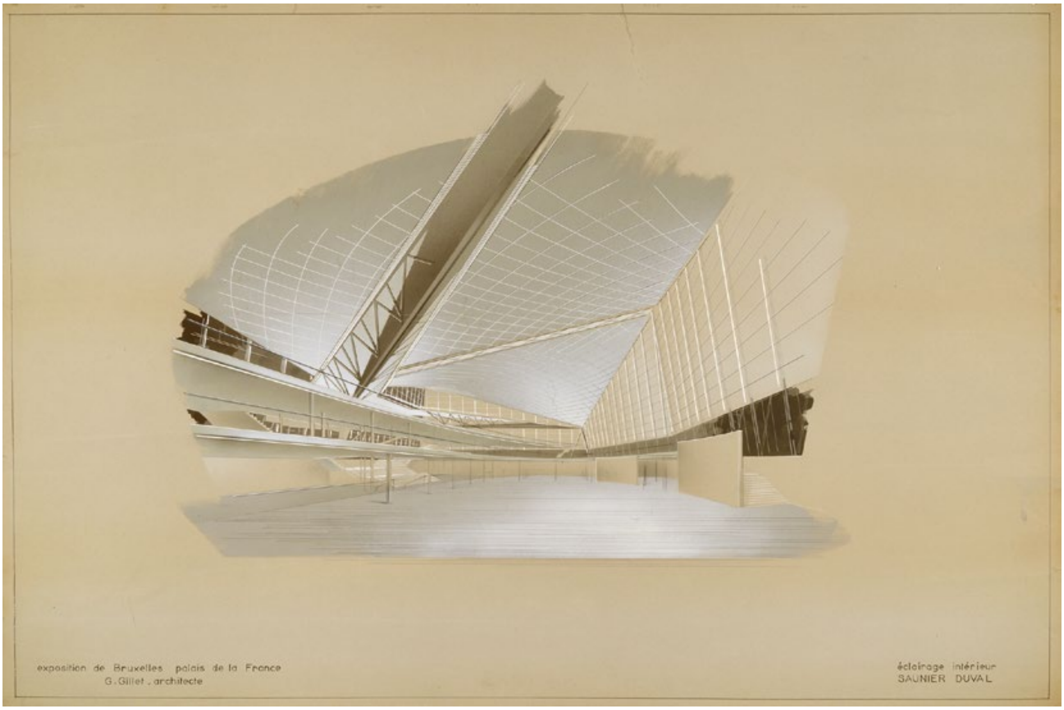
Cet ouvrage a été réalisé grâce au soutien du Ministère de la Culture et du laboratoire Architecture, Culture, Société/AUSser (ACS UMR AUSser) de l'École nationale supérieure d'architecture Paris-Malaquais – PSL

Image de la couverture
Photographie de maquette du projet de I. Xenakis et J.-L. Véret pour la Cité de la musique (détail). Fonds Véret. SIAF/Cité de l'architecture et du patrimoine/Archives d'architecture contemporaine.

Conception maquette et mise en page
Desk
25 boulevard de la Vannerie, 53940 Saint-Berthevin
Tél : 02 43 01 22 11
https://www.desk53.com.fr

ISBN 978-2-85978-571-0

Presses des Ponts
24, boulevard de l'Hôpital – 75005 Paris
Tél. : 01 44 58 27 29
Site internet : http://www.presses-des-ponts.fr
Courriel : presses.des.ponts@fc-enpc.fr



G. Gillet, architecte, avec R. Sarger ingénieur, pavillon de la France à l'Exposition universelle de 1958, Bruxelles. Perspective intérieure, n.d. (éclairage intérieur Saunier-Duval). Fonds Gillet. SIAF/Cité de l'architecture et du patrimoine/Archives d'architecture contemporaine [152 IFA 412].

À Nikos et Léna

Sommaire

Introduction – Architecture et culture scientifique

La représentation géométrique, première scientifisation de l'architecture ?

> Rendre géométrique la représentation, c'est-à-dire dessiner les phénomènes et ordonner en série les événements décisifs d'une expérience, voilà la tâche première où s'affirme l'esprit scientifique[1].

L'*incipit* de Gaston Bachelard dans *La formation de l'esprit scientifique* peut trouver tout son sens dans le domaine de l'architecture, si on se permet de substituer, dans la phrase citée ci-dessus, le projet d'édifice aux phénomènes et aux expériences : la représentation géométrique est sans doute le premier travail où s'affirme l'esprit scientifique en architecture aussi, même si la démarche scientifique dans le domaine de l'architecture ou de la construction peut s'entendre de différentes manières, et elle ne se confond pas tout à fait avec le sens du rationnel. On ne peut le dire mieux qu'Alexandre Koyré :

> Aussi surprenant que cela puisse nous paraître, on peut édifier des temples et des palais, et même des cathédrales, creuser des canaux et bâtir des ponts, développer la métallurgie et la céramique, sans posséder de savoir scientifique – ou en n'en possédant que les rudiments[2].

La démarche scientifique peut généralement être entendue, suivant Bachelard, comme impliquant un processus rationnel qui passe par l'interprétation et l'abstraction dans l'objectif de répondre à une question explicitement posée et dans un contexte préalablement identifié.

Le rapport de l'architecture aux sciences exactes se décline sur un large spectre entre, d'une part, l'application directe des acquis scientifiques, et, d'autre part, la métaphore ou l'analogie. À l'intérieur de ce spectre, on peut déceler différents niveaux d'interprétations ou d'exploitation intellectuelle des interactions de l'architecture avec la science proprement dite, si difficile voire potentiellement trompeur que soit de définir et de circonscrire avec précision ces deux domaines, et à plus forte raison sur une période longue.

Le domaine de la géométrie est le premier lieu de rencontre entre la démarche scientifique et l'architecture, de manière plus ou

[1] Gaston Bachelard, *La formation de l'esprit scientifique*, Paris, Vrin, 2011, p. 5 (1re éd. 1938).
[2] *Études d'histoire de la pensée scientifique*, Paris, Gallimard, 1973. La citation apparaît sur la 4e de couverture.

moins implicite, plus ou moins assumée, tout d'abord dans un sens d'application directe. L'architecte conçoit, construit, projette, interroge des formes dans l'espace. Son objet converge ainsi avec celui de la géométrie, au degré d'abstraction près. La géométrie apparaît inévitablement comme un champ de connaissances complémentaire à l'art de bâtir, outil nécessaire à la définition dans l'espace des formes qui doivent être construites et à la solution des problèmes qui en résultent, tout en admettant que l'ensemble des problématiques qui les concernent dépassent largement son périmètre.

Le travail de représentation est inhérent à l'acte architectural depuis que l'on considère comme architecte celui qui conçoit concrètement l'objet avant de construire à l'aide de techniques qui donnent aux idées une forme matérielle. Ce travail essentiel met toutefois des siècles à se rationaliser géométriquement, car le problème en réalité est double : il est aussi bien géométrique – quelles figures, quelles opérations – que proprement représentationnel – quels objets a-t-on besoin de représenter, comment, dans quel but ?

Ainsi, la représentation géométrique en architecture ne découle pas d'une volonté d'explicitation scientifique, mais elle est la réponse à des besoins qui émergent au cas par cas lors des processus de conception et de construction. Elle reste pendant longtemps intuitive, oscillant entre dessin figuratif et dessin technique, sans cadre conventionnel général qui puisse rendre la communication de l'information parfaitement explicite dans tous les cas. Les types et registres de représentation varient et n'atteignent pas un niveau suffisant de rigueur et de cohérence, car les points de vue ne sont pas fixes et les différentes vues se juxtaposent ou se confondent. La représentation géométrique est mélangée avec des éléments picturaux. Ces méthodes très hybrides persistent jusqu'à la Renaissance, lorsque l'invention de la perspective pose pour la première fois de manière rigoureuse la question du point de vue de l'observateur. C'est alors que, avec les travaux de Brunelleschi, d'Alberti, de Dürer, les recherches sur la perspective introduisent le raisonnement mathématique dans le dessin figuratif en général, et dans la représentation des édifices en particulier.

Yves Deforge remarque toutefois, dans *Le graphisme technique*[3], que même après l'invention de la perspective, la représentation graphique peine à s'aligner à des conventions claires et qu'elle manque de rigueur au moins jusqu'à la fin du XVII^e^ siècle. Des vues perspectives sont distordues, des rabattements improvisés sont pratiqués, afin de communiquer tant bien que mal les informations voulues, et on trouve des ambiguïtés – dit Deforge – même chez le mathématicien Gaspard Monge, à la fin du XVIII^e^ siècle[4]. Toujours est-il que Monge est celui qui édifie la méthode mathématique permettant de formaliser les différents types de projections et surtout leurs relations. Ainsi,

[3] *Le graphisme technique : son histoire et son enseignement*, Seyssel, Champ-Vallon, 1981.
[4] *Ibid.*, p. 78. Il s'agit selon Deforge de la présentation sur le même dessin de l'élévation de face et de profil de l'objet représenté (une seringue).

si jusqu'au XIXe siècle le plan, la coupe, l'élévation sont bien ancrés dans les pratiques de l'architecture et de l'industrie, coordonner les vues entre elles ne va pas de soi, et la maîtrise des rapports entre les différentes représentations nécessite un mathématicien de premier plan pour s'appuyer solidement sur une théorie et lever les incohérences, incertitudes ou approximations.

L'enjeu de l'objectivation du dessin par un système géométrique de plus en plus rationnel ne peut être séparé de ceux de la construction elle-même. Le mot « représentation » est réducteur de la pratique qu'il tente de décrire, celle-ci étant non seulement une activité de figuration, mais aussi de conception et de recherche de solutions techniques en même temps. Raison pour laquelle la géométrie est enseignée à tous ceux qui se destinent aux métiers techniques et elle est présente dans tout manuel ou traité. Des cours et précis de géométrie sont inclus dans tout enseignement et manuel qui s'adresse aux artisans, ouvriers, maçons, techniciens, comme aussi aux plasticiens, en plus des architectes et des ingénieurs. Dans le même temps, de la science qu'est la géométrie, est retenu ce qui est le plus directement utile : rarement les preuves ou démonstrations, parfois les théorèmes, plus souvent les définitions, toujours les propriétés des figures, leurs relations, les opérations nécessaires à la solution d'un problème, les résultats pratiques, complétés parfois d'explications sur l'usage des instruments, en faisant généralement l'économie de l'axiomatique et de l'apodictique.

Mais, quoique ces observations soulignant le caractère instrumental de la science en architecture concernent une grande partie des pratiques, il ne faut pas qu'elles en cachent d'autres aspects. Les enjeux du rapprochement entre architecture et science sont multiples, comme le montrent les vicissitudes des doctrines artistiques et architecturales depuis la haute Renaissance, et ne se limitent pas à la seule question utilitaire : ils peuvent avoir un objet d'ordre symbolique ou idéologique aussi. Outre les recherches des fondements mathématiques de la perspective pendant la Renaissance, on peut mentionner en France, à titre d'exemple, les querelles entre praticiens et scientifiques à partir du XVIIe siècle, puis les tentatives d'établir la preuve dans les épures des constructions, enfin la recherche pour une théorie mathématique englobant l'ensemble des problèmes géométriques de représentation et de construction au XVIIIe siècle. Aboutissement emblématique de la « scientifisation » de l'art de bâtir, la géométrie descriptive élaborée par le mathématicien Gaspard Monge a l'ambition de fournir des outils scientifiques pour résoudre graphiquement tout problème de figures dans l'espace tridimensionnel et elle sera enseignée dans la plupart des écoles d'architecture en France et aussi hors France. Cela dit, son importance symbolique se révèle parfois supérieure à celle technique ou pratique[5].

[5] Voir Jacques Guillerme, « Les limites de l'idéalisation », *in* Jacques Guillerme, *L'art du projet. Histoire, technique et architecture*, Wavre ; Liège, Mardaga, 2008.

Les surfaces courbes, défi géométrique millénaire

Quoique les surfaces courbes soient généralement plus difficiles à étudier ou à manipuler géométriquement que les surfaces planes, elles apparaissent très tôt dans la construction parce qu'elles présentent d'importants avantages du point de vue de la stabilité et de la résistance de l'édifice. Une construction courbe, et à plus forte raison une surface à double courbure, est plus résistante qu'une construction plane ayant les mêmes caractéristiques par ailleurs.

Avec l'évolution des formes architecturales, avec l'amplification de l'ambition constructive et le raffinement des structures courbes (dômes, voûtes), les difficultés géométriques se font sentir. Comme il arrive avec la représentation artistique pendant la Renaissance, qui incite des études sur l'optique et sur la perspective, la représentation et la construction de surfaces courbes en architecture stimulent pendant certaines périodes les études en sciences exactes, notamment en mathématiques et en mécanique. Elles mobilisent ainsi non seulement les praticiens, mais aussi des savants : exemple éminent, le mathématicien Girard Desargues (1591-1661), qui s'intéresse particulièrement aux problèmes de stéréotomie. Et, comme déjà mentionné, au XVIIIe siècle, toute une discipline dérivée des mathématiques, la géométrie descriptive, est élaborée par Gaspard Monge, mathématicien, pour répondre à des problèmes géométriques relevant tout d'abord du domaine de la construction, notamment de la charpenterie et surtout de la coupe des pierres.

La nature de ces problèmes parfois ardus est liée en partie aux spécificités des techniques utilisées : les assemblages en charpenterie, le découpage de l'arc ou de la voûte en voussoirs dans l'architecture en pierre. Certaines des difficultés de l'architecture clavée proviennent de ses caractéristiques géométriques, notamment de la courbure. Comme les surfaces courbes sont par définition celles qui ne sont pas contenues dans un plan, leur représentation et donc leur maîtrise via l'arsenal géométrique des métiers du bâtiment risquent de poser plus de problèmes que lorsqu'on traite des surfaces planes. Les pratiques géométriques développées par les tailleurs des pierres de manière empirique ont apporté des solutions plus ou moins spécifiques à de tels problèmes. Solutions que la géométrie descriptive corrige, complète et rationalise en fournissant un socle mathématique et des méthodes graphiques à portée générale pour résoudre dans l'espace à deux dimensions des problèmes de géométrie tridimensionnelle.

Or, avec le recul des constructions clavées complexes qui la font naître, l'importance de la géométrie descriptive en tant qu'outil effectif de l'architecte ou de l'ingénieur décline. Dans le même temps, son enseignement, en France comme dans d'autres pays, est bien ancré dans la tradition des écoles d'architecture et d'ingénieurs : cette branche des mathématiques permettra, ou prétendra de permettre, de « voir dans l'espace », selon une expression bien aimée dans le monde de l'enseignement, répétée par les étudiants dans l'effort de s'en convaincre[6].

Les logiciels informatiques au tournant du millénaire changent la donne, puisqu'ils offrent directement à l'usager la visualisation désirée, mais en même temps ils intériorisent la connaissance mathématique et algébrisent définitivement la géométrie. Après donc la géométrie descriptive, qui représente une étape de performance scientifique significative pour la description géométrique en architecture, l'informatisation du dessin est l'avancée technoscientifique qui va révolutionner ce domaine vers la fin du XXe siècle. Par les capacités calculatoires de plus en plus importantes qu'elle apporte, elle se trouve à l'origine d'un retour aux formes courbes plus ou moins complexes.

Joël Sakarovitch considère qu'il s'agit d'une condition susceptible de rechanger la donne en faveur de la géométrie descriptive, laquelle trouverait ainsi à nouveau un champ propice d'application, sinon comme outil de représentation principal, du moins en tant qu'aide complémentaire au concepteur pour la compréhension des formes courbes dans l'espace tridimensionnel virtuel[7]. Des publications au tournant du siècle abordent la question cruciale de ce virage important dans la représentation architecturale et son enseignement[8]. L'histoire récente de la représentation architecturale n'a pas rendu justice aux espoirs de Joël Sakarovitch : les usagers des logiciels peuvent aujourd'hui travailler efficacement sur des formes courbes complexes en se passant de la géométrie descriptive, que, très souvent, ils ne maîtrisent pas vraiment, voire pas du tout[9].

La deuxième moitié du XIXe et la majeure partie du XXe siècle correspondent à une période transitoire entre les deux étapes significatives esquissées ci-dessus, à savoir entre le déclin de la géométrie descriptive – réduite alors à des pratiques rudimentaires et vue plutôt comme base méthodologique pour la représentation – et l'apparition de logiciels ayant de grandes capacités de calcul de formes géométriques complexes via des interfaces dont la manipulation élémentaire nécessite peu de connaissances mathématiques, ou en tout cas de très loin inférieures à celles utilisées dans le logiciel lui-même.

En effet, la régression de la géométrie descriptive s'explique en partie par la domination en architecture des formes du mouvement moderne ou, plus tard, de l'architecture préfabriquée, qui ne demandent pas, en général, de techniques de conception géométrique particulièrement savantes. Pourtant, pendant l'entre-deux-guerres et surtout à partir des années 1950, certains ingénieurs et

[6] Fiches pédagogiques sur la géométrie descriptive à l'École nationale supérieure d'architecture Paris-Malaquais consultées entre 2010 et 2015, entretiens avec des étudiants dans le cadre du bilan de licence pendant la même période.

[7] Sakarovitch, Joël, « De la modernité de la géométrie descriptive », *in* March R., Sakarovitch J., « La géométrie de la représentation dans les écoles d'architectures », *In Extenso*, n° spécial, oct. 2000.

[8] « Création architecturale et informatique ? », *Le carré bleu*, n. 2-3, 1986 ; March R., Sakarovitch J., « La géométrie de la représentation dans les écoles d'architectures », *op. cit.*

[9] Nous appuyons cette remarque surtout sur notre expérience d'enseignement dans la discipline « Outils mathématiques et informatiques » à l'École nationale supérieure d'architecture Paris-Malaquais entre 2012 et 2021.

architectes pionniers cherchent à innover en réinterprétant les formes historiques ou en en inventant des nouvelles, notamment des formes courbes dont la représentation et la construction peuvent s'avérer compliquées eu égard aux outils et méthodes utilisés habituellement dans les agences d'architecture et les bureaux d'études à l'époque.

À quel point la science apporte-t-elle un cadre rationnel pour la conception architecturale pendant cette période transitoire ? La réponse implique de repérer l'héritage scientifique des époques précédentes, qui voient la gestation lente de la rationalisation de la description géométrique dans la construction du bâti. Elle suppose aussi d'étudier la mise en application du savoir mathématique pour la conception des projets d'architecture du XXe siècle qui présentent des problèmes de description et de construction particuliers, dus à leur forme géométrique.

Formes libres, formes mathématiques et *form-finding*

Les surfaces courbes ne sont pas employées dans l'architecture contemporaine de la même manière que dans les constructions clavées, mais elles suivent les propriétés des nouveaux matériaux, notamment du béton et de l'acier. Elles sont utilisées pour les voiles et les coques, comme aussi pour les structures réticulées, résilles, maillages.

Dans le livre *Shell Structures for Architecture*, les auteurs distinguent, indépendamment du matériau et du type de structure, trois types de formes courbes en architecture. Premièrement, celles dites libres (*freeform*), « sculpturales », issues d'intentions principalement formelles, « générées sans tenir compte des performances structurelles ». Deuxièmement, les formes que ces auteurs appellent « mathématiques » (*mathematical*), décrites en premier lieu par des équations ou des fonctions mathématiques. Troisièmement, celles conçues via des processus de recherche de forme (*form-finding*), c'est-à-dire des méthodes utilisant des modèles physiques ou informatiques en vue de définir la forme structurelle optimale par rapport à un problème donné, par exemple l'usage du moins de matière possible[10].

Sans que cela ne soit précisé par les auteurs de *Shell Structures for Architecture*, il y est entendu que la classification ci-dessus est basée sur le point de départ ou sur le critère prééminent pour la conception de l'objet formel, à savoir : une intention plastique, spatiale ou esthétique, s'agissant des « formes libres » ; une définition mathématique préexistante, s'agissant des formes dites « mathématiques » ; ou une considération structurelle, s'agissant de celles conçues par *form-finding*. Mais il serait difficile d'admettre cette classification comme

[10] Sigrid Adriaenssens, Philippe Block, Diederik Veenendaal, Chris Williams (dir.), *Shell structures for architecture. Form finding and optimization*, Londres, New-York, Routledge, 2014, p. 2.

étanche, car les trois catégories peuvent inclure des objets répondant aux autres critères aussi.

Historiquement, ces types de formes coexistent dans la construction architecturale, et, s'il est difficile de dire lesquelles sont vraiment premières, au fur et à mesure que la construction échappe à l'exclusivité des praticiens et devient une affaire de savants et de scientifiques aussi, l'effort est de plus en plus manifeste de décrire et d'expliquer à l'aide des différentes branches des mathématiques les types des formes construites. Le fameux problème de l'*entasis* des colonnes est un exemple de la volonté de définir mathématiquement, au XVIIe siècle, un tracé de forme libre en apparence[11]. Les différents traités de construction et autres ouvrages, de Philibert Delorme et Désargues à Monge et ses disciples, montrent dans toute son étendue l'éventail des formes définies mathématiquement et susceptibles d'être utilisées dans les constructions.

Les formes « mathématiques » incluent les figures et surfaces géométriques aisément reconnaissables, comme aussi toutes celles qui puissent résulter d'une formule mathématique. Dans la période récente, il s'agit le plus souvent, selon les auteurs de *Shell Structures for Architecture*, de « polynômes de bas degré (hyperboloïdes, ellipsoïdes et paraboloïdes hyperboliques ou elliptiques) ou de fonctions trigonométriques ou hyperboliques[12] ». Contrairement aux approches plus anciennes qui mettent la science au service du problème constructif, certaines pratiques contemporaines exacerbent le rôle de la définition mathématique, en d'autres mots l'idée selon laquelle la génération géométrique ou la formule mathématique est le point de départ déterminant pour la conception de l'objet architectural[13].

L'expression « formes libres » (*freeform*) est devenue courante avec l'avènement des outils informatiques de modélisation géométrique avancés, et avec la possibilité qui en découle de générer des formes qui non seulement n'appartiennent pas aux géométries qu'on peut appeler « canoniques », mais aussi des formes dont le concepteur peut même ignorer la définition mathématique.

Mais l'expression « formes libres » dans le domaine des structures architecturales est bien antérieure à ces évolutions technologiques :

> Une forme libre assujettie à la structure, voilà qui sonne comme une contradiction. Et pourtant les formes libres [...] sont pleinement dépendantes de la structure. Des formes libres, sans lien avec la structure constitueraient des expressions arbitraires [...]. De quoi sont donc libérées ces formes libres, puisqu'elles demeurent sous l'obédience totale de la loi structurale ?[14]

---

[11] Voir Dominique Raynaud, « Mathématiques et architecture : le tracé de l'*entasis* par Nicolas-François Blondel », *Archive for History of Exact Sciences*, vol. 74, 2020, p. 445-468.

[12] Sigrid Adriaenssens *e.a.* (dir.), *Shell structures for architecture*, *op. cit.*, p. 2.

[13] Voir Burry Jane, Burry Mark, *Mathématiques et architecture*, Arles, Actes Sud, 2010 (*The New Mathematics of Architecture*, Londres, Thames & Hudson, 2010).

[14] Curt Siegel, *Les formes structurales de l'architecture moderne*, Paris, Eyrolles, 1965 (1960), p. 270.

Ainsi introduit le chapitre *Formes libres* Curt Siegel, dans un ouvrage publié en 1960 sur *Les formes structurales de l'architecture moderne*. L'auteur poursuit de longues explications sur les liens difficiles entre certains objets géométriques et la structure, pour conclure :

> Comprises ainsi, les formes libres signifient ceci : elles sont libres de toute contrainte géométrique. Cette libération n'a rien à faire avec l'arbitraire. [...] Nous appliquerons donc le concept de forme libre même là où certaines lois géométriques sont encore identifiables, mais où le thème de la forme d'ensemble n'est plus, à l'origine, de nature purement géométrique[15].

Le mot « géométrique » dans les passages cités ci-dessus fait, indubitablement, référence aux figures canoniques de la géométrie euclidienne et à une certaine régularité apparente qui lui est associée. Toujours est-il que ces explications recèlent un certain embarras de l'auteur à définir ce qu'est une forme libre. La définition de « forme libre » semble assez intuitive et elle est, dans un premier temps, relativement subjective. Par ailleurs, contrairement à la classification – bien plus tardive – de *Shell Structures for Architecture* citée plus haut, selon Curt Siegel la forme libre d'une coque n'est pas dépourvue de fondement d'ordre structurel, mais au contraire elle en découle : avec la conception de formes libres,

> la forme structurale peut se développer d'une manière plus claire, elle peut exprimer d'une manière plus pure ce qui fait l'essence même de la coque[16].

Les formes libres, dans ce sens, s'approcheraient de celles générées par *form finding*, et ne correspondent pas à l'usage terminologique dominant aujourd'hui, qui suppose, comme chez les auteurs de *Shell Structures for Architecture*, les « formes libres » libérées de toute contrainte au départ, y compris structurelle.

Vu les ambiguïtés des définitions, il serait prudent de considérer généralement en tant que « formes libres » celles qui ne relèvent pas de figures ou objets géométriques historiquement bien connus en architecture, qui ne sont donc pas, en résumant un peu grossièrement, des polyèdres, cylindres, cônes, hyperboloïdes ou paraboloïdes de toutes sortes ; qui ne sont pas non plus prédéfinies mathématiquement par le concepteur, mais dont la conception résulte d'intentions formelles autres. Le besoin de les construire peut conduire, cela dit, à les rationaliser voire à les définir mathématiquement *a posteriori*.

Les projets résultant d'une méthode de *form-finding* sont faciles à identifier dès que le processus de conception est connu. Tel qu'il est entendu historiquement dans la bibliographie, le *form-finding* est basé sur des recherches expérimentales à partir de modèles physiques. *A priori*, la modélisation mathématique n'intervient pas dans le processus (ou du moins, pas dans un premier temps). Avec le calcul des structures assisté par ordinateur, le *form finding* peut

---

[15] *Ibid*.
[16] *Ibid*.

être étendu à des méthodologies hybrides, ou même entièrement informatisées.

Quant aux formes « mathématiques », elles peuvent résulter directement d'une expression mathématique ou d'une méthode de génération s'appuyant sur des propriétés géométriques. Dans les deux cas, elles peuvent être calculées manuellement ou générées via un logiciel.

En dehors de la classification analysée ci-dessus, basée sur le critère de génération de la forme, un deuxième critère peut être retenu pour l'étude des surfaces courbes et des méthodes employées pour les représenter et les construire. Il concerne le type des méthodes mathématiques ou techniques employées à la conception de la forme (ou à sa rationalisation à posteriori s'il s'agit d'une forme libre en premier lieu) : on distingue alors les méthodes graphiques et géométriques d'une part et les méthodes algébriques et analytiques d'autre part.

En ce qui concerne la conception des projets comprenant des surfaces complexes, il est souvent difficile de séparer l'apport des architectes de celui des ingénieurs, et la contribution de chaque acteur peut varier selon les projets. Certains ingénieurs, comme Bernard Laffaille ou René Sarger, ont contribué à l'élaboration de la forme architecturale, voire l'ont définie ou redéfinie, d'après les plans de l'architecte, par des raisonnements sur la statique. Par conséquent, si l'intention architecturale globale revient à l'architecte, il arrive que l'invention d'une forme géométrique et structurelle particulière revienne à l'ingénieur.

Particularités des surfaces gauches en architecture

Les surfaces courbes sont distinguées en surfaces à simple et à double courbure. Si dans un premier temps cette distinction est assez intuitive, elle est formalisée mathématiquement à partir du moment où sont définies les courbures principales de la surface. Les courbures principales sont les courbures minimum et maximum à un point de la surface, les différentes courbures étant celles de toutes les courbes – une infinité – qui résultent de l'intersection de la surface avec tous les plans qui contiennent la normale de la surface (c'est-à-dire le vecteur perpendiculaire au plan tangent de la surface à ce point). Les courbures principales correspondent à des plans perpendiculaires entre eux. La courbure gaussienne (ou courbure de Gauss, ou courbure totale) de la surface en un point est définie en tant que le produit des deux courbures principales.

Les surfaces à simple courbure sont des surfaces développables. Cela signifie qu'elles peuvent se dérouler sur le plan sans modification de leurs caractéristiques métriques (angles et longueurs). On dit également qu'elles ont une courbure gaussienne nulle, car l'une des deux courbures principales à un point quelconque est nulle – on appelle ce point « parabolique ». Les surfaces à double courbure ne peuvent pas être déroulées sur un plan sans changement de leur métrique, elles sont donc non développables. Elles ont une courbure gaussienne positive ou négative à un point selon que les courbures principales à ce point sont dans le même sens (point elliptique) ou de sens inverse (point hyperbolique). Les surfaces à courbure positive sont aussi appelées surfaces synclastiques. Les surfaces à courbure négative sont appelées aussi surfaces à courbure inverse, ou surfaces anticlastiques. Elles sont également appelées surfaces « gauches », selon l'acception répandue aujourd'hui de cette expression, tout en sachant que sa signification varie chez les différents auteurs au fil du temps.

La représentation plane des surfaces à double courbure peut parfois s'avérer plus problématique que celle des surfaces développables, car il n'existe pas d'« image » (application, dans le langage mathématique, ou *mapping* dans la littérature anglo-saxonne) d'une telle surface sur le plan qui puisse en conserver toutes les propriétés métriques. Néanmoins, dans des cas simples, par exemple certains types de surfaces de révolution ou de translation, les projections orthogonales sont souvent suffisantes pour les processus de conception et de construction et peuvent apporter toutes les informations nécessaires. En revanche, si l'objet géométrique est atypique ou compliqué, sa représentation et sa définition en vue de sa fabrication risquent d'être des tâches particulièrement laborieuses.

Les observations ci-dessus ne signifient pas que les opérations géométriques sur des surfaces développables sont de fait moins difficiles ou moins compliqués que celles sur des surfaces à double courbure, mais seulement que ces dernières ont un problème supplémentaire en ce qui concerne leur représentation voire leur fabrication, résultant de la non-développabilité.

L'usage de logiciels capables de calculer des géométries à trois dimensions apporte, à la fin du XX^e^ siècle, des solutions d'une grande précision à ces problèmes de représentation dans la plupart des cas. Cependant, il y a des architectes et des ingénieurs qui proposent et même construisent des surfaces courbes assez difficiles à définir ou à représenter, avant l'avènement des outils de conception assistée par ordinateur. L'étude des méthodes graphiques ou mathématiques utilisées pour la conception de telles surfaces alors, notamment pendant les années 1950 et 1960, peut apporter un éclairage sur la valorisation ou non de l'héritage des acquis géométriques de plusieurs siècles d'histoire de la construction, ayant atteint un certain degré de perfection avant que le changement des techniques et des styles architecturaux ne les rendent caducs, ou presque. Cette étude peut aussi apporter des éléments de réponse sur la question plus générale de l'apport de la culture scientifique aux pratiques de conception architecturale.

Les surfaces à courbure négative, dites surfaces gauches, présentent un intérêt particulier car elles sont celles qui ont été les moins valorisées – sinon les moins bien connues – en construction jusqu'au XX^e^ siècle et elles sont particulièrement liées à partir de 1930 à des innovations constructives. Dans les exemples les plus audacieux impliquant l'usage de surfaces gauches en architecture, beaucoup est alors à inventer. Il ne s'agit pas de sous-estimer l'intérêt d'édifices comprenant des surfaces à simple courbure ou à courbure positive, comme le CNIT ou l'Opéra de Sydney, véritables exploits constructifs. Mais, d'une part, ceux-ci représentent surtout des défis structurels et techniques plutôt que géométriques – par exemple la forme de l'Opéra de Sydney, plus complexe au départ, est simplifiée pour épouser une géométrie sphérique, plutôt bien maîtrisée. D'autre part, les surfaces gauches présentent au xxe siècle un caractère particulièrement innovant par la nature de leur géométrie même et son potentiel structurel.

La majeure partie du présent ouvrage s'appuie sur l'analyse des travaux d'architectes et ingénieurs français ou basés en France. La tradition en géométrie qui va de Philibert Delorme et Girard Desargues à Gaspard Monge et Jean-Victor Poncelet présente un corpus historique à la fois riche et significatif. En ce qui concerne la période contemporaine, parmi les ingénieurs pionniers ayant travaillé dès les années 1920 sur les surfaces gauches sont Eugène Freyssinet, Fernand Aimond et Bernard Laffaille, et pendant l'après-guerre, l'œuvre d'architectes ou ingénieurs basés en France – Le Corbusier, Iannis Xenakis, René Sarger – contient des exemples parmi les plus emblématiques dans ce domaine, même s'il ne faut pas oublier les grands noms de la scène internationale – Anton Gaudi, Félix Candela, Frei Otto, entre autres.