

Une méthode de modélisation croisée pour concevoir des structures en bois : les « défis du bois »

Besançon Franck¹, Bignon Jean-Claude², Duchanois Gilles³

^{1,2,3} MAP-Crai (UMR 3495CNRS/MCC), ENSA Nancy, 2 rue Bastien-Lepage - B.P. 40435 - 54001 Nancy Cedex

Abstract. This paper discusses the different models used in design situation. It relies on a learning experience conducted for eight years: "Wood Challenges." This workshop meets for a week, fifty students in architecture and wood-engineering. A design methodology based on the use of models allows us to imagine and simulate the construction of a wooden inventive structure. In describing the various models and the attributes attached to them, we show that the use of these models allows cross-fertilize the transition from an idea to its concrete materialization.

Keywords: design process, models, architecture and wood ingeneering, learning experience

Contexte

Le système productif actuel dissocie de plus en plus fortement les compétences et engendre des discontinuités entre les acteurs que l'on tente de compenser par des méthodes et outils dits collaboratifs. Si la spécialisation des connaissances et des compétences est inhérente à l'évolution des pratiques humaines et à l'enrichissement des savoirs et des savoir-faire qui leur sont liés, la nécessité de leur assemblage ou tout du moins de leur intersection reste forte.

Dans le domaine de la production du bâti, les mêmes phénomènes de distanciation sont à l'œuvre avec des formes de surspécialisation dans les métiers. Il suffit d'observer comment toute nouvelle dimension de conception, par exemple la qualité environnementale, est aujourd'hui attribuée à un conseiller spécifique. On retrouve cette tendance dans l'enseignement. Architectes et ingénieurs sont formés séparément, tout du moins en France, et au sein de chaque formation les savoirs constitutifs de ces disciplines sont isolés et interagissent peu. Le processus de projection allant de l'idée à la matière se fait par des séquences largement étanches qui parfois sont mises en opposition, préparant ainsi involontairement un terrain de méfiance voire de défiance entre les divers praticiens de la maîtrise d'œuvre. Les outils qui instrumentent ces pratiques finissent même par ne pas être interopérables tant les modèles sur lesquels ils se fondent sont différenciés.

La critique de ces pratiques n'est pourtant pas neuve. Jean Prouvé a largement tancé ces contemporains sur cette question en donnant au prototype un rôle central dans les pratiques de conception et de fabrication (Bignon 1990). Ezio Manzini a montré que le processus qui va du pensable au possible entremêle largement projet virtuel et matérialité (Manzini 1989). D'autres travaux plus récents ont fait apparaître que les différents médiums utilisés en conception et les modèles qui les sous-tendent ne pouvaient s'opposer ou se substituer l'un à l'autre. Par exemple, Pierre Côté a confirmé que la modélisation numérique ne peut ni se substituer au dessin manuel ni à la maquette (Côté 2011).

Hypothèse

Notre travail se fonde sur l'hypothèse qu'un croisement des outils de modélisation utilisés pour la production des ouvrages est de nature à fertiliser les démarches et augmenter la qualité des propositions. La question de la matérialisation peut alors être abordée à partir de cinq modèles différents : le modèle sémantique, le modèle analogique, le modèle géométrique, le modèle structurel et le modèle prototype, étant entendu que la réalisation finale finit

récurivement par devenir elle-même le modèle du projet qui lui a donné naissance.

Chacun des modèles questionne et/ou solutionne une ou plusieurs dimensions de la matérialité. Par exemple, la question du poids des composants qui n'est pas présent dans le modèle géométrique est au contraire un attribut constitutif du modèle structurel. Deux modèles différents peuvent également avoir les mêmes attributs de matérialité, mais avec des valeurs ou des degrés de certitude différents. Ainsi la question de la forme, très incertaine dans le modèle sémantique, devient quasiment figée dans le modèle prototype. Ce sont donc les attributs de la matérialité et leurs valeurs qui sont constitutifs de chacun des modèles. Ils guident les variations différentes du comportement des modèles et donc leur aptitude à permettre l'exploration et l'évaluation des propositions. Dans le présent travail, une liste de dix attributs permet de caractériser chacun des modèles et leur aptitude à représenter ces « être géométriques dans l'espace » identifiés par D.G. Emmerich dans la morphogenèse structurale (Emmerich 1971).

Nous avons formalisé cette approche dans une méthode qui est aujourd'hui utilisée pour mener les « défis du bois ». Appliquée et adaptée depuis huit années, elle permet une production rapide, inventive et partagée dans le cadre de cette manifestation.

Les défis du bois

Les défis du bois sont un dispositif pédagogique visant à mobiliser des savoirs et savoir-faire, de l'intelligible et du sensible, pour concevoir et réaliser des structures inventives en bois. Il s'agit véritablement d'un atelier à tous les sens du terme. Atelier d'artiste, atelier d'artisan, atelier d'usine, bref c'est un lieu où sont rassemblés ceux qui conçoivent ou fabriquent un objet, voire une œuvre. Le protocole pédagogique proposé met en œuvre des pratiques de modélisation croisées de l'objet à concevoir et réaliser en abordant la question de la matérialité par la manipulation de données tantôt symboliques, tantôt iconiques, tantôt matérielles.

Initié par l'ENSA-Nancy et l'ENSTIB en 2005, cet atelier didactique rassemble près d'une cinquantaine d'étudiants, pour moitié élèves architectes et pour moitié élèves ingénieurs en provenance de différents pays. Organisés en dix équipes mixtes, ces étudiants doivent concevoir et réaliser en une semaine une structure en réponse à un sujet qui leur est révélé le jour du démarrage de l'épreuve en faisant appel à un outillage et à une quantité de matériaux limités et identiques pour tous. (www.defisbois.fr)



Figure 1 – Défis du bois 2012 : un rayon pour chacun, un soleil pour tous

Le modèle en conception

S'il est admis que, d'une manière générale, nous raisonnons sur des modèles (Valéry1973),

il convient cependant d'apporter quelques précisions sur le rôle des modèles. Dans notre contexte expérimental, le modèle doit être appréhendé comme une représentation simulante et stimulante. Comme le modèle scientifique, le modèle en conception permet de décrire et de prédire un fait, un comportement, une réalité au sens large. Mais il permet aussi de construire par la pensée cette réalité qui n'existe pas ou pas encore. Il s'agit moins d'établir la connaissance d'un objet que de produire la connaissance d'un projet (Le Moigne 1989).

La perception de l'objet à construire qui s'établit dans le modèle va pouvoir prendre des formes ou plutôt des formalisations variées. Le modèle pourra se construire sur des données symbolique avec une forme d'abstraction importante par rapport au matériau ; c'est le cas du modèle sémantique ou du modèle structurel. Il pourra au contraire s'établir sur des données iconique avec une correspondance visuelle plus forte, comme c'est le cas du modèle analogique ou du modèle géométrique. Le prototype représente, quand à lui, une forme hybride de modélisation, en combinant une expérience « vraie » de la structure fondée sur des données matériauologiques et des représentations symboliques qu'elles soient mathématiques ou sémantiques.

Les modèles de conception vont également entretenir des rapports à la matérialisation de l'idée à des degrés différents. Si le modèle sémantique est très distant et incertain sur la matérialité, le modèle prototype, lui, se confond presque avec cette matérialité. Dans une conception expérimentale comme la nôtre, la question de l'ambiguïté du modèle ne se pose pas comme dans le domaine des sciences. Au contraire, selon les moments du processus de conception et les modèles convoqués, l'ambiguïté peut être favorable à une attitude projective. Le « flou » du modèle sémantique est indispensable pour activer l'imaginaire et permettre des dérivations nombreuses nécessaires à la recherche de la solution. Tandis que la précision du modèle prototype est utile à la finalisation du projet.

La dernière question sera celle de la justesse du modèle. Si le principe de preuve peut être convoqué dans le modèle physique, il est difficilement applicable au modèle sémantique et finalement au projet comme modèle à construire. Certes, la construction réelle pourra participer à la vérification de certaines pertinences, comme par exemple la stabilité, mais elle ne saurait argumenter l'acceptation ou la réfutation globale de la proposition (Popper 2006). L'œuvre réalisée sera ou ne sera pas (pour ceux qui ont échoué), mais elle ne sera pas une preuve pour les modèles utilisés. Finalement on constatera que les modèles en conception sont d'abord des outils projectifs avant d'être des outils analytiques.

La combinaison de différents modèles dans l'activité des « défis du bois » nous permet d'asseoir la multiplicité des points de vue, en particulier celle des architectes et des ingénieurs. Elle favorise une approche sélective, mais différenciée des informations indispensables à la conduite du travail de conception. Elle autorise une évaluation réciproque en permettant également de compenser l'incomplétude de chaque modèle et leurs inadéquations à répondre à toutes les questions posées lors de la conception. Elle permet enfin d'enrichir le processus de conception en situation expérimentale, en limitant les approches routinières et en favorisant la capacité d'invention.

Le modèle sémantique

Le modèle symbolique associe librement des mots et des croquis rapides pour permettre à l'équipe de conception de clarifier un « concept » partageable. Le modèle se formalise ici à partir de deux types de signifiants appartenant au langage et à la figuration naturels. Les premiers sont des mots empruntés au vocabulaire courant. Ceux-ci peuvent avoir des

caractères d'abstraction du réel très différenciés. Par exemple, le mot « légèreté » porte une ouverture sémantique plus large que le mot « escalier ». Les seconds sont des « traces » ou « icones », ils échappent à la figuration codée, mais affinent le sens des mots auxquels ils sont liés ou apportent un signifié que le mot peine à exprimer.

Par cette formalisation abstraite, le modèle sémantique autorise un premier niveau d'échange du concepteur avec lui-même et des concepteurs entre eux. Le modèle sémantique est un dispositif d'explicitation incertaine qui permet rapidement d'ouvrir le champ du pensable et du dessinable et de contourner le syndrome de la page blanche.

Nous utiliserons le modèle sémantique pour « mettre en condition » de création l'équipe de conception. Il s'agit de parvenir à dégager un maximum d'hypothèses au sein de l'équipe. L'intérêt porté à ce modèle réside dans sa facilité d'accès. La parole a la capacité de renvoyer rapidement et mentalement à une image, un son, des couleurs..., autant d'éléments à interpréter et de déclinaisons possibles qui deviennent dessinables pour démarrer la conception.

Dans ce modèle, la matière est largement symbolique. Elle renvoie à des images puisées dans des univers référentiels très différents. Le bois peut évoquer l'arbre ou la forêt, la verticalité du tronc et le flou de la canopée. Mais il peut également évoquer le ciel et la terre, le feu et la vie, la cabane primitive ou le temple grec. La représentation formelle donnée au mot enlève une part d'abstraction et précise l'intention, l'idée qu'il faudra développer. Une ligne ondulante, un élanement, un éclatement... représente des formes géométriques simples ou complexes qui font entrer le projet dans le domaine du pensable. La matière prend forme en même temps qu'elle prend nom pour finalement prendre sens.



Figure 2 - modèle sémantique : des mots et des traces graphiques

La réflexion passe de l'imaginable au pensable. L'échange d'informations orales dans l'équipe donne des indications qui ne figurent pas dans le dessin ou qui précisent les mots. La matérialité commence à prendre la forme d'une matière signifiante intégrable dans le projet. Le collectif de conception doit alors gérer et filtrer la quantité d'éléments incertains et complexes introduits dans le modèle.

Le modèle analogique

Le modèle analogique représenté par la maquette physique est un modèle qui se caractérise par des analogies de comportements ou de formes proches de l'objet réel. Karen Moon nous rappelle que la maquette a toujours été un moyen pour les architectes de développer et communiquer leurs idées, parce qu'elle constitue le passage à la volumétrie par la 3D (Moon 2005). La maquette spatialise les idées souvent représentées en deux dimensions (Schilling 2007). Cependant, le niveau de détail et de prise en compte de la matière va dépendre

principalement de l'échelle utilisée.

Nous utilisons deux sortes de maquette dans notre travail. La première est dite conceptuelle. Elle est sans échelle véritable et se trouve dans un prolongement du modèle sémantique. Elle concrétise la pensée par un volume en trois dimensions en associant des matériaux qui pourront ou non se rapprocher de ceux utilisés au final. Sans être dépourvue de matérialité, elle conserve une part d'abstraction de la matière qui permet de développer plusieurs idées constructives ouvrant toujours le champ des possibles. Au travers du modèle ainsi produit, l'équipe de conception s'attachera à structurer la forme pour la rendre réalisable, puis fabricable.

La seconde maquette est dite de composition. Elle peut être réalisée sous forme d'une autre maquette que la maquette conceptuelle ou venir la « reprendre ». Dès lors, la prise en compte de la matière devient de plus en plus précise. Le niveau de détail va dépendre principalement de l'échelle utilisée. La maquette devient support de nombreuses informations. Il y a à la fois l'information réelle comme la position des composants dans ce que montre l'objet avec l'exécution de détails soignés, mais aussi l'information de ce qui n'est pas montré, mais seulement suggéré par les matériaux qui seront utilisés. La colle, par exemple, traduit un assemblage qu'il faudra résoudre.

Dans ce modèle, la matière va jusqu'à la miniaturisation (qui semble nécessaire) du matériau final dans ses rapports de longueur, largeur et épaisseur. Pourtant si la nature du matériau utilisé pour la maquette est identique à celle du matériau final, l'analogie avec le réel potentiel reste partielle. En conception, le modèle analogique n'est pas une simple réduction. Une volige de 4 mètres de long n'a pas le même comportement qu'une pièce de bois de 20 centimètres, même si sa section est proportionnelle.



Figure 3 - modèle analogique : une première forme de matérialisation

La maquette trouve aussi sa pertinence dans une première approche de la stabilité et de l'assemblage offert par la lecture directe. En manipulant physiquement le modèle créé, on peut expérimenter avec une première approximation son comportement. L'observation et l'analyse des déformations du modèle renverront à l'utilisation d'autres modèles comme le modèle structurel et/ou à la reprise de la maquette. Dans le modèle analogique, la matière devient « visualisable » et le projet devient davantage constructible avec le montage qui transparaît en filigrane.

Le modèle géométrique

La modélisation géométrique est l'ensemble des outils mathématiques, numériques et informatiques qui, combinés, permettent de construire un modèle virtuel (ou modèle informatique) d'un objet réel. Elle sous-entend d'être en mesure de réaliser la construction et

l'assemblage de formes élémentaires pour créer des objets de plus en plus complexes en respectant des contraintes topologiques.

Le modèle géométrique permet d'assurer une représentation tridimensionnelle qui favorise la compréhension de l'objet, notamment sur la forme, les connexions... Cet objet peut être le fruit de l'imagination ou l'expression d'une solution plus ou moins exacte d'un problème physique donné, voire un compromis entre les deux. Le modèle créé est une représentation « probable » de l'objet avec un dimensionnement « vraisemblable » des composants donnés au départ. Comme la maquette, le modèle géométrique permet des manipulations pour représenter, modifier, analyser, manipulations souvent facilitées par la capacité des modeleurs à favoriser le choix des points de vue et le niveau de focalisation. Par différence avec le modèle analogique, la paramétrisation des composants (par exemple les sections) peut favoriser le travail de recherche de solutions par ajustement.

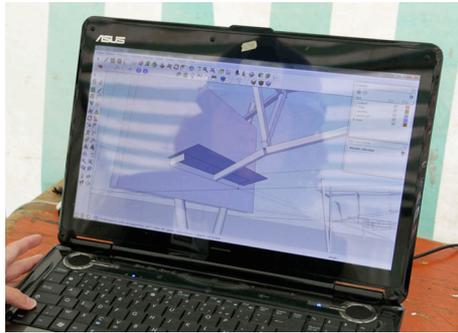


Figure 4 - modèle géométrique : une maquette virtuelle

Du côté de la fabrication, le modèle géométrique donnera une information réelle vis-à-vis de la matière en renseignant les angles de coupes, les longueurs des pièces ou le nombre total d'éléments. Il peut même dans certains processus « numériques continus » fournir les données d'entrées pour des machines à commande numérique. Ce n'est pas l'objet des « défis du bois », car nous voulons privilégier un rapport du projet à l'objet qui sera aussi tactile.

Le modèle structurel

Le modèle structurel permet une compréhension et une simulation du comportement de la structure en terme de stabilité et de résistance des matériaux. Il fait appel à différentes théories issues de la physique des matériaux et des structures comme la « théorie des poutres » ou des méthodes calculatoires comme le « calcul aux éléments finis ».

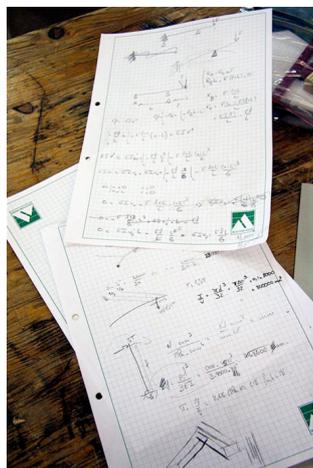


Figure 5 - modèle structurel : l'usage du calcul scientifique

Sur le plan iconique, le modèle s'appuie sur une abstraction des composants en réduisant leur forme à un axe et une section et leur liaison à un nœud. Sur le plan sémantique les liaisons sont caractérisées par un comportement mécanique (encastrement, rotule...) tandis que la matière y est abordée par son module d'élasticité. Le modèle structurel est donc une abstraction par rapport au modèle analogique et au modèle géométrique dont il reprend les attributs, mais avec une valuation différente. Celle-ci enrichit la compréhension du comportement physique de la structure, mais elle peut aussi perdre de l'information antérieure. Sur la technologie de l'assemblage par exemple, le modèle analogique peut porter une information qui se perd dans le modèle structurel. Ainsi, l'usage de fils pour liasonner les composants d'une maquette peut caractériser une ligature, alors qu'une épingle simulera une tige filetée.

Le modèle structurel contraint également à un raffinement des composants en obligeant à les dissocier. Il devient possible de décomposer le modèle en identifiant chacune de ses entités et ainsi d'entrevoir la faisabilité constructive de l'objet en conception. La matérialisation devient « structurellement réaliste ».

Enfin, la simulation structurelle favorise la visualisation des efforts et de la déformation de la structure. Elle assoit la compréhension dynamique de l'ouvrage à dimensionner.

Le modèle prototype

Le modèle prototype permet d'expérimenter par le « travail grandeur nature » les multiples valeurs des attributs de la matérialité des autres modèles en apportant une dimension tactile et corporelle indispensable.

Il joue un rôle empirique dans la vérification du dimensionnement en complément du modèle structurel en permettant d'éprouver physiquement des valeurs qui sont trop souvent abstraites pour les étudiants. Avec des tests à l'échelle 1/1, il permet d'accéder efficacement à une solution en facilitant la compréhension de la structure par l'expression concrète des déformations et l'approche des singularités du matériau bois. La matière se révèle et ce qui était pensé comme léger devient parfois lourd, le raide devient souple et gauche, le cintrable devient rigide, le solide et résistant devient fragile et cassant.

Le prototype donne par ailleurs une autre approche constructive que la maquette en intégrant les problèmes réels de poids et d'encombrement, mais aussi ceux liés à l'usinage et au levage. La réalisation du prototype invite à penser la chronologie de fabrication et de montage. Les questions de découpage de l'objet apparaissent en distinguant ce qui est fait au sol et ce qui est fait en l'air avec les problèmes de fixations et de facilité d'accès. Le modèle intègre aussi des « composants éphémères » pour l'étalement, le contrôle de l'équerrage ou encore pour le levage.



Figure 6 - modèle prototype : la matière en essais

On notera enfin que le contact réel et concret avec le matériau n'intervient pas seulement à la fin du processus de conception. Le modèle prototype n'est pas réservé à la réalisation de l'objet final, il se veut permanent dans le processus de conception, en renseignant les autres modèles et en opérant la liaison entre le pensable et le réalisable.

Conclusion

En nous appuyant sur une expérience pédagogique menée depuis huit ans, nous avons tenté de formaliser un processus de conception/fabrication en tant que processus de matérialisation d'idées. Cette approche se fonde sur l'utilisation croisée de cinq modèles caractérisés chacun par des attributs de matérialité. La figure 7 présente un tableau récapitulatif de ces attributs, leur présence et leur valeur dans chacun des modèles. On remarquera que si le modèle sémantique comporte peu d'attributs, ceux-ci sont particulièrement critiques en début de processus. A l'opposé, le modèle prototype comporte beaucoup d'attributs qui le place souvent en fin de process, même s'il est partiellement utilisable avant.

Modèles	SEMANTIQUE	ANALOGIQUE	GEOMETRIQUE	STRUCTUREL	PROTOTYPE
Attributs					
Symbolique	***	**	*		*
Forme	*/**	***	***	***	***
Dimension	*	**	***	***	***
Poids				**	***
Position		**	***	***	***
Relation (topologie)		**	***	***	***
Mécanique		**		***	***
Stabilité		*		***	***
Fabrication		*	*		***
Montage		*	*		***

Figure 7 - Tableau récapitulatif des modèles et du degré de caractérisation des attributs

Loin d'être linéaire, ce processus de matérialisation d'une forme structurelle par usage de modèles différenciés se révèle largement opportuniste. Ce sont les différentes questions posées par la matérialité qui appellent l'usage de l'un ou l'autre des modèles. Les outils numériques (modeleurs géométriques, simulation de structures...) dans un tel dispositif ne se

substituent pas aux autres moyens de compréhension et d'échanges, mais viennent les enrichir. Rarement premiers, ils sont aussi rarement derniers dans le processus de conception. La matière ne saurait jamais être totalement dématérialisée.

Références

- Bignon J.C., Coley C. (1990), Jean Prouvé entre artisanat et industrie 1923-1939, Archives modernes de l'architecture en lorraine
- Côté P., Mohamed-Ahmed A., Tremblay S. (2011), A Quantitative Method to Compare the Impact of Design Mediums on the Architectural Ideation Process., in P. Leclercq, A. Heylighen et G. Martin, Computer Aided Architectural Design Futures 2011 Proceedings of the 14th International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures, Liege, pp.539-555
- Derycke D.(2012), La complexité inhérente aux modèles numériques et le paradigme de la représentation architecturale, in F. Guéna et C. Lecourtois (dir.), Complexité(s) des modèles de l'architecture numérique, Nancy, PUN, pp.153-163
- Emmerich D.G. (1971), Morphologie : ses sources, son contenu. La morphogenèse. In Morphologie/structure. Ministère des Affaires Culturelles – Service des Enseignements de l'Architecture et des Arts plastiques
- Joachim G., Safin S., Roosen M. (2012), Les représentations externes en collaboration créative. Etude d'un cas de réunions de conception architecturale, in F. Guéna et C. Lecourtois (dir.), Complexité(s) des modèles de l'architecture numérique, Nancy, PUN, pp.115-128
- Le Moigne J.L. (1989), « Qu'est-ce qu'un Modèle ? ». in Les modèles expérimentaux et la clinique psychiatrique, Confrontations psychiatriques, n°30, pp.11-30
- Manzini E. (1989), La matière de l'innovation. Collection Inventaire, Edition du Centre Georges Pompidou/CCI, Paris
- Moon K. (2005), Modeling Messages, The architect and the model. Edition The Monacelli Press, New-York
- Picon A. (2005), L'architecture et le virtuel : vers une nouvelle matérialité, in Chupin J.P. et Simonnet C., Le projet tectonique, Infolio, pp.165-182
- Popper K. (2006), Conjectures et réfutations, la croissance du savoir scientifique, Payot, Paris
- Schilling A. (2007), Maquettes d'architecture. Collection Basics, Birkäuser Editions d'architecture, Bâle
- Valéry P. (1973), Eupalinos suivi de l'âme et de la danse suivi de dialogue de l'arbre, Gallimard, Paris