



HAL
open science

Le schème, opérateur de la conception architecturale, II: Le cas de la conservation du modèle morphologique

Dominique Raynaud

► To cite this version:

Dominique Raynaud. Le schème, opérateur de la conception architecturale, II: Le cas de la conservation du modèle morphologique. *Arquitetura Revista*, 2008, 1, pp.15-32. halshs-00006245v2

HAL Id: halshs-00006245

<https://shs.hal.science/halshs-00006245v2>

Submitted on 17 Apr 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Le schème, opérateur de la conception architecturale, II

Le cas de la conservation du modèle morphologique

Dominique Raynaud*

* Université Pierre-Mendès-France, PLC (Grenoble), GEMAS (Paris)

Résumé

This paper is a study of architectural design process. The explanation of an elementary change of state of the project is faced with two cases : (i) change of state transforms the morphological model, in which case schema operator is needed to describe the design operation (Raynaud, 1999) ; (ii) change of state does not involve such a transformation and just consists in a size adjustment. The present paper examines the second case onto several examples (Gio Ponti, Sebastiano Serlio, Villard de Honnecourt). It is shown that schema operator is also required to describe the design operation in its entirety. But, since scale is regarded as a design operator by architecturology, the connection between schema and scale must be clarified. The reasons leading to the characterization of scale and schema as design co-operators are reviewed.

Keywords : architectural design process, operations, operators, schema, scale.

1 Position du problème

Les recherches sur la conception architecturale se distribuent en deux familles principales¹. On y trouve des travaux défendant une approche externaliste (Rathier et Tapie, 1993 ; Montlibert, 1995 ; Callon, 1996 ; etc.) ou une approche internaliste (Boudon et al., 1994 ; Conan, 1981, 1990 ; Prost, 1992, 1995 ; etc.) Alors que les premiers envisagent la conception architecturale comme un lieu d'interactions sociales entre acteurs, les seconds explorent les actes de conception sur le plan cognitif. Boudon écrit par exemple : « L'investigation se limite méthodologiquement à viser une connaissance des opérations auxquelles se livre l'architecte au travail de la conception et en restreignant délibérément ce terme de "conception" au travail intellectuel par lequel est généré un objet » (1995, p. 259).

Les recherches internalistes, inspirées par les travaux de Herbert A. Simon (1991), se démarquent par leur intérêt pour l'étude des processus (vs. états) de conception d'objets virtuels (vs. construits). Elles supposent que toute action de conception est un espace d'actions humaines finalisées (Boudon et Deshayes, 1997).

L'architecturologie (Boudon, 1992) est à l'origine de concepts spécifiques de la conception architecturale (échelle, opérande, opérateur, référenciation, découpage, dimensionnement...) qui peuvent être introduits par une expérience de pensée. Supposons que nous disposions d'une série d'esquisses $e_1, e_2, e_3 \dots$ relatives au même projet. Ces esquisses constituent les états successifs du projet. La question est alors celle de la description-explication des changements d'état :

¹*Arquitetura Revista (Sao Leopoldo)*, 2008, 1, pp. 15-32. Une première version de ce texte a paru in Ph. Boudon et al., *Vers un dictionnaire architecturologique*. Programme de recherche quadriennal 2002-2005. Laboratoire d'architecturologie et de recherches épistémologiques sur l'architecture, LAREA, Paris, 2004.

$e_1 \rightarrow e_2, e_2 \rightarrow e_3 \dots$ L'analyse procède à une reconstruction rationnelle, en cherchant les raisons justifiant le changement entre deux esquisses consécutives².

La notion d'échelle, a été introduite à partir de la question « comment un architecte donne-t-il des mesures à l'objet qu'il conçoit ? ». Lorsqu'un architecte confère, change ou ajuste la mesure d'un objet, il raisonne simultanément sur plusieurs « espaces de référence », afin de produire des mesures pertinentes. Dans la conception d'une salle de restaurant, le concepteur doit tenir compte du nombre de personnes attendues — d'une façon d'ailleurs plus large que celle définie par la contrainte de 1,6 m² par personne³. Si, par hypothèse, l'architecte doit agrandir la salle, il sait que cela peut le conduire à allonger la portée du plancher, et à accroître la hauteur des poutres qui supportent le plancher. Dans cette suite d'éventualités, le concepteur utilise deux espaces de référence : fonctionnel et technique. Quoique fictif, cet exemple permet de comprendre pourquoi l'échelle est définie comme pertinence de la mesure⁴.

Philippe Boudon (1995) s'est ensuite demandé si l'on pouvait identifier des opérations de conception architecturale, comme on parle d'opérations arithmétiques, boursières ou chirurgicales. La réponse est positive si l'on admet l'inévitable fluctuation du terme d'un domaine à l'autre (une opération arithmétique n'est pas une opération chirurgicale). Le terme d'opération se justifie cependant par le fait que les conséquences de l'application d'échelles ont un caractère stable et reproductible, à travers les projets et à travers les architectes. L'auteur pose alors que l'échelle architecturologique serait une « opération par laquelle l'architecte confère des mesures à un objet qu'il est en train de concevoir, ce, en se référant à un domaine qui, lui donnant sens, constitue la pertinence de cette opération » (Boudon, 1995, p. 63). Un autre texte exprime plus clairement cette idée : « Le modèle est ce sur quoi portent les opérations de mesure : il est un opérande. L'opération dont il est opérande comporte un opérateur : l'échelle⁵ » (Boudon et al., 1994, p. 131). Rappelons enfin que toute opération a pour conséquence un résultat. Cet usage des termes opération, opérateur et opérande en architecture suit une ligne d'évolution que l'on constate dans d'autres domaines, à savoir une tendance à différencier de plus en plus opération et opérateur⁶. Comme le suggère Desclés :

« Alors que l'opération est un concept qui vise à saisir le processus opératoire de transformation de l'opérande, l'opérateur⁷ se présente comme étant détachable de l'opérande et du processus opératoire [...] Il est définissable intrinsèquement par ses seules latitudes combinatoires et ses possibilités, ou contraintes, d'agencement avec d'autres opérateurs. L'auteur ajoute : Il est devenu très fréquent d'utiliser le terme d'opérateur [...] pour désigner une opération (formelle) dans laquelle on sait isoler un opérande, un résultat et une transformation formelle » (Desclés, 1981, p. 6, 8).

²On considérera que cette reconstruction n'est pas arbitraire, dès lors qu'elle est étayée par un témoignage du concepteur et qu'elle n'est pas contredite par la connaissance commune des pratiques de conception.

³Alexander attire l'attention sur la différence entre conception et contrainte : « En fait, nous pourrions pratiquement prétendre qu'un problème n'exige un travail de conception [...] que lorsqu'on ne peut recourir à la sélection pour le résoudre » (1971, p. 62).

⁴« Parmi la diversité de sens que le terme d'échelle peut recouvrir en dehors même du champ de l'architecture, j'ai choisi de m'en tenir à une définition de l'échelle entendue comme "pertinence de la mesure" » (Boudon, 1992, p. 171). L'architecturologie distingue une vingtaine d'échelles (cf. Boudon, 1992, p. 134-163). Cette division des échelles architecturologiques est analytique, au sens où les parties d'un ouvrage répondent souvent simultanément à plusieurs échelles (ceci expliquant le caractère sous-optimal des réponses architecturales). Les échelles se combinent entre elles par juxtaposition, surdétermination ou codétermination (Boudon et al., 1994, p. 198-200).

⁵On préférera cette définition à la précédente qui ne s'accorde pas avec la définition de l'échelle comme pertinence de la mesure. L'échelle ne peut être à la fois la pertinence et l'opération dont elle est la pertinence.

⁶Le terme d'opérateur était inusité au début du XX^e siècle : « Dans la théorie générale des opérations, il se présente trois sortes d'éléments : les objets sur lesquels on opère, les opérations que l'on exécute sur ces objets, enfin les résultats que l'on obtient par l'exécution de ces opérations » (Pincherle, 1912, p. 1 ; Desclés, 1981, p. 18).

⁷Il existe, en mathématique, divers opérateurs (gradient, rotationnel, laplacien, nabla, etc.) Les noms de Heaviside, Schönfinkel et Von Neumann sont associés à leur développement.

Le concept d'opérateur marque donc un pas de plus dans la direction de l'opérateur pur. L'architecturologie est loin de prétendre au formalisme mais, au vu des critères de Desclés, on est en droit de considérer que les échelles architecturologiques possèdent certains traits des opérateurs : elles sont définies intrinsèquement et font l'objet de combinaisons par juxtaposition, surdétermination et codétermination (Boudon et al., 1994, p. 198-200).

Si l'on suit l'architecturologie, on notera que l'échelle ne forme pas une classe d'opérations épuisant toute le spectre des actions de conception. Le concept d'opération y est utilisé en un sens plus large. *Primo*, les concepts de juxtaposition, de surdétermination et de codétermination sont parfois qualifiés d'opérations. Portant sur des opérateurs, il s'agit de « méta-opérations ». *Secundo*, l'échelle n'est pas un concept unitaire du modèle architecturologique. Il faut toujours se référer à ses « trois opérations constitutives » que sont la référenciation, le découpage et le dimensionnement.

« Pour une bonne compréhension de l'échelle en terme d'opérateur il convient de distinguer nettement : — d'une part, le choix d'un éclairage particulier [...] Nous nommerons une telle opération, opération de référenciation, — d'autre part, la décision de sur quoi va porter la mesure : l'entité à mesurer [...] Cette deuxième opération sera donc une opération de découpage⁸ en objets à mesurer, — enfin, la relation, entre ce qui est mesuré et l'instrument de mesure, qui suppose une pertinence [...] Nous appellerons opération de dimensionnement⁹ » (Boudon et al., 1994, p. 151).

De ce point de vue, l'opérateur « échelle » est constitué de trois opérations de niveau inférieur. Cet emboîtement pose problème car la complexité du concept d'échelle ne permet plus l'assimilation exacte de l'échelle à un opérateur formel. *Tertio*, les échelles architecturologiques étant définies comme « classes d'opérations » (Boudon et al., 1994, p. 166), elles ne constituent pas *stricto sensu* des opérations concrètes. Ces opérations (référenciation, découpage, dimensionnement), renvoyées à un projet donné, portent le nom de scalème¹⁰. Une étude architecturologique de l'Institut du Monde Arabe montre que Jean Nouvel et ses collaborateurs ont tiré de la même « échelle de modèle » plusieurs mesures distinctes : les modules de pavés de verre du soubassement sont réglés sur un appareillage de pierre ; l'entrée du bâtiment reprend les proportions de la porte de Blondel, détruite au XIX^e siècle ; les menuiseries reprennent tantôt le modèle des lits de pierre horizontaux, tantôt celui des lames d'un store vénitien (Boudon et al., 1994, p. 275).

Au total, l'échelle constitue une cascade d'opérations : opérations génériques de référenciation, de découpage et de dimensionnement, qui renvoient elles-mêmes à diverses opérations précises, ou scalèmes, selon les projets et les contextes particuliers. Ce pas vers l'élémentarisme pose problème. Aucune opération — ou séquence opératoire — n'est définie dans l'exemple ci-dessus. Comme l'analyse ne s'oriente pas sur la dimension opératoire du travail de conception, il devient difficile d'assimiler le scalème à un opérateur.

Il faut tirer deux conclusions à ce point. La première est que la spécification de l'opérateur échelle en opérations (par ailleurs non réductibles à des opérateurs) va à l'encontre de l'usage, pour lequel il s'agit plutôt de spécifier les opérations en opérateurs et opérands. Cela conduit à douter du statut d'opérateur de l'échelle. Notons que l'hypothèse de l'échelle opérateur, explicite en certains textes (Boudon, 1992, p. 179-180 ; Boudon et al., 1994, p. 131, 149) disparaît

⁸Cela revient, pour l'architecte, à isoler une entité pertinente du projet pour effectuer une opération. Dans la Banque nordique d'Helsinki, Alvar Aalto isole ainsi la « façade » en fonction d'une échelle de voisinage.

⁹« Dimensionner [...] c'est à la fois décider de ce qui est à mesurer et lui attribuer une mesure quelle qu'en soit la précision ou le flou » (Boudon et al., 1994, p. 123). Ce niveau de précision varie de la première esquisse aux plans d'exécution.

¹⁰« Une opération [...] opère dans des contextes divers selon des modalités diverses produisant ainsi des faits de mesure variés [...] Nous appellerons scalèmes de tels faits de mesure patents renvoyant à une modalité précise de mesure » (Boudon et al., 1994, p. 192).

ultérieurement (Boudon, 1995). La seconde conclusion à tirer est que le terme d'opération n'est pas réservé aux échelles, puisque les textes d'architecturologie l'emploient pour qualifier tantôt des opérations de niveau supérieur (surdétermination, juxtaposition, codétermination), tantôt des opérations de niveau inférieur (référenciation, découpage, dimensionnement, scalème). Cela pose la question du nombre d'opérations ou d'opérateurs qu'une modélisation de la conception architecturale doit retenir. N'existe-t-il pas autant d'opérations et d'opérateurs qu'il est utile d'en concevoir pour décrire les actions de conception ? Comme les exigences sont variables, la liste d'opérateurs n'est pas close et la voie est ouverte pour en découvrir d'autres.

Le concept de *schème*¹¹ envisagé comme opérateur de la conception répond à ces attentes. Dans ce cadre, le schème est défini comme une action générique dont le corrélat linguistique est toujours un verbe d'action fondamental comme *entrer, sortir, couper, coller, tourner, éviter, longer, etc.* (Raynaud, 1999). Nous avons suggéré qu'une analyse des changements d'état du projet pouvait tirer parti d'une distinction entre : (i) le cas où le modèle morphologique de l'édifice est conservé (le travail de conception consiste alors à ajuster les mesures du bâtiment) ; (ii) le cas où le modèle morphologique est transformé (le travail de conception consiste alors à redéfinir le modèle et à le doter de mesures). Dans le cas de la transformation du modèle, l'étude de plusieurs séries d'esquisses montre que l'analyse architecturologique est insuffisante pour décrire le travail de conception (Raynaud, 1999, p. 45-57). Il faut introduire l'opérateur schème pour rendre compte des changements d'état observés. Dans le même article, nous avons admis — par hypothèse — que l'analyse architecturologique demeurerait valide quand il y avait conservation du modèle morphologique. L'objet du présent article est d'examiner cette hypothèse à partir de trois études de cas. Nous montrerons que, même lorsque le modèle morphologique est conservé, il est nécessaire d'introduire le schème comme opérateur. De cela, suivra un réexamen des rapports entre schème et échelle.

2 L'immeuble Pirelli de Gio Ponti

La description des opérations-manipulations virtuelles d'objets est généralement sous-entendue dans les textes d'architecturologie. L'une des raisons de cette absence est que les ajustements dimensionnels, effectués sous la clause de conservation du modèle morphologique, font souvent appel à des procédures simples. Il suffit parfois à l'architecte de diminuer ou d'augmenter la taille de l'objet conçu pour trouver une mesure pertinente. Données d'un savoir tacite sur la conception, aisément traduites en langage naturel, ces actions paraissent étrangères à l'analyse¹². Si l'on s'assigne comme objectif de décrire-expliquer la conception, ces procédures doivent être explicitées. C'est ce que nous montrerons d'abord sur l'immeuble Pirelli de Milan, conçu par Gio Ponti et les ingénieurs Nervi et Danusso, en 1956 (Figure 1).

Voici ce que disent les auteurs de cette action de conception : « Dans son immeuble de Milan, l'architecte Gio Ponti réduit l'épaisseur de son bâtiment aux extrémités, car celles-ci requièrent

¹¹Sur le concept de schème, ses origines philosophiques et psychologiques, et son application aux problèmes de la conception architecturale, nous renvoyons à l'article dont celui-ci constitue la suite (Raynaud, 1999, p. 45-46). Le lecteur y trouvera un rappel des principes de base et une bibliographie sélective. Pour un approfondissement, cf. Raynaud (1998, 2003). Le concept de schème, tel qu'entendu ici, a été repris par plusieurs chercheurs en informatique appliquée, en particulier dans le cadre d'un système de références ouvertes d'aide à la conception initiale en architecture (Scaletsky, 2004). D'autres auteurs ont développé l'idée de schème comme « opérateur morphosémantique » (Wetzel et al., 2006).

¹²Soulignons la particularité de l'échelle économique : « L'échelle économique [...] recouvre les décisions sur l'espace architectural qui sont prises avec une attention portée à la réduction des coûts » (Boudon, 1978, p. 17). Cette définition rend compte du cas le plus fréquent, mais rend l'échelle économique inapplicable au cas où l'architecte ferait une proposition entraînant une augmentation raisonnée des coûts. Cette difficulté suggère de distinguer entre l'espace de référence (l'échelle économique) et l'opération (*réduire* ou *augmenter*).

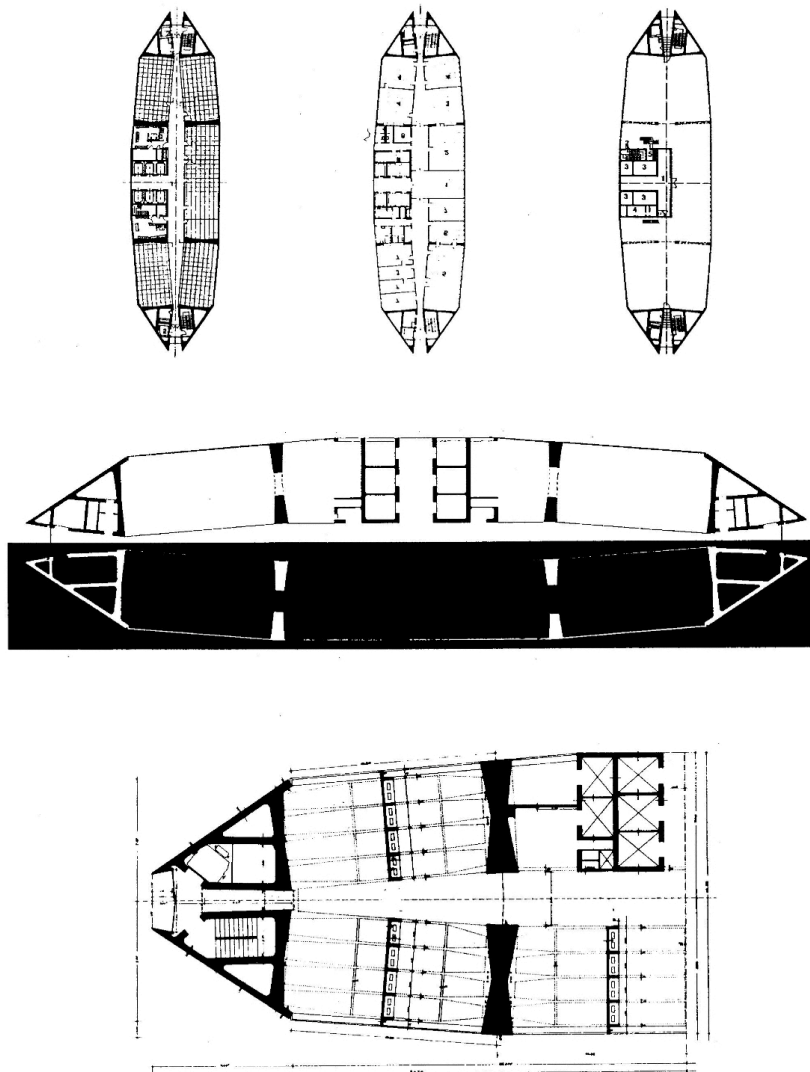


FIG. 1 – Gio Ponti, Immeuble Pirelli (d'après Irace, 1988) : (a) distribution des bureaux, (b) plan schématique comme slogan, (c) plan de structure d'un pignon.

des espaces de circulation moindres que la partie centrale où se trouvent localisés ascenseurs et escaliers. La décision architecturale consistant à *réduire* les extrémités du bâtiment trouve sa pertinence dans la fonctionnalité des espaces de distribution » (Boudon et al., 1994, p. 168). L'essentiel du texte est consacré à l'exposé des motifs justifiant cette opération¹³, que les auteurs

¹³En l'absence d'enquête historique approfondie, il vaudrait mieux écrire : « aurait fait cette opération ». Mais comme cela ne change rien à la démonstration, nous admettrons – par hypothèse – la présence d'une échelle fonctionnelle. Le fait est cependant loin d'être évident : je n'ai pas su en retrouver la trace dans les textes de Desideri et al., (1982), Irace (1988), Ponti (1990) et Viganò (1956). Il resterait à étudier les textes de Ponti

résumé par l'expression : pertinence de l'échelle fonctionnelle. La description procédurale est toutefois nécessaire car, si l'on ampute par hypothèse les mots « réduire les extrémités du bâtiment », l'opération de conception devient inintelligible. Sachant pourquoi elle a été faite, on ne saurait plus en quoi elle consiste. Une autre expérience de pensée montre que la procédure ne peut pas être déduite de l'échelle fonctionnelle. Supposons que l'on choisisse le même découpage (le plan de l'étage courant) et la même référence (une réflexion fonctionnelle). Dans ces conditions, on peut parvenir à un autre dimensionnement en positionnant différemment les escaliers et les ascenseurs pour que toutes les zones du couloir soient pratiquées. En ce cas, Gio Ponti n'aurait pas réduit la largeur du couloir, il l'aurait conçue constante. . . Cette expérience de pensée répond à la question de la traductibilité de l'opération en termes architecturologiques : elle prouve que l'on doit introduire un nouvel opérateur pour expliciter l'opération sur le couloir de l'immeuble Pirelli.

Cette manipulation étant descriptible par un schème, elle engage à considérer qu'une analyse complète des actions de conception requiert à la fois un schème et une échelle. On écrira :

$$\text{réduire}_{\text{fonctionnel}}(\text{extrémités du couloir}) = \text{couloir trapézoïdal}$$

Cette écriture déroge plus au cadre théorique de l'architecturologie qu'aux études de cas qu'elle a suscitées. Dans le commentaire sur l'immeuble Pirelli, le membre de phrase [réduire les extrémités du bâtiment] désigne le contenu de l'opération, alors que le membre [fonctionnalité des espaces de distribution] se rapporte aux raisons pour lesquelles l'architecte a procédé ainsi. Cette description de l'action de conception mérite d'être systématisée.

3 Les *temperaturae* selon Sebastiano Serlio

Dans la *De architectura*, Vitruve recommande de pratiquer un ajustement optique des parties les plus élevées des édifices, parce que l'angle sous lequel elles sont vues diminue en fonction de leur exhaussement par rapport à l'œil¹⁴. Ce système, connu sous le nom de *temperaturae*, fut appliqué et préconisé par de nombreux architectes de la Renaissance et du Classicisme¹⁵. On doit à Sebastiano Serlio d'avoir conçu une méthode géométrique pour corriger les distorsions introduites par la hauteur excessive de certaines parties du bâtiment. Sa méthode, publiée en 1619, sera reprise par Dubreuil, Fréal, Bosse et Blondel — lequel s'opposera, dans certaines séances de l'Académie royale d'Architecture, à son adversaire Claude Perrault, qui pensait qu'il était inutile de changer de proportion¹⁶. Ce débat indique par lui-même que la règle exposée par

(1956, 1960) et Banham (1961). Soulignons que ce dispositif peut aussi dériver d'une échelle technique. Viganò écrit : « La conception, entièrement nouvelle, a été rendue possible par l'utilisation des techniques du béton armé précontraint qui, en même temps qu'elles donnent une forme à l'édifice, lui confèrent une sorte de "tension" rendue visuellement perceptible » (1956, p. 1). La fille de l'architecte, Lisa Ponti, explique : « Dans un bâtiment, dans lequel le rapport entre la largeur et la hauteur est très petit, la stabilité (la résistance au vent) était un problème sans précédent pour une structure en béton armé. Nervi le résolut en adoptant un système de "gravité" concentré dans les triangles rigides des deux "points" [...] » (1990, p. 186).

¹⁴Vitruve (1990) explique : « Il faut donc que la raison corrige les erreurs de la vue », « En effet, plus le rayon visuel s'élève, plus il a de peine à traverser les couches denses de l'air [...] C'est pourquoi il faut toujours ajouter un supplément au calcul dans les parties proportionnelles, pour que celles qui sont placées en des lieux trop élevés, ou qui ont elles-mêmes des dimensions colossales, conservent le même rapport de grandeur » (*De architectura*, III, 3, 11 et III, 5, 9).

¹⁵Le traité comptera de nombreuses éditions : Rome, 1487 (*editio princeps*) ; Florence, 1496 ; Venise, 1497 ; Venise, 1511 ; Florence, 1513 ; Lyon, 1522 ; Rome, 1544 ; Bâle, 1581 ; Paris, 1694.

¹⁶Perrault fut chargé par Colbert d'une nouvelle traduction du *De architectura*. Sa lecture minimaliste — qui transparaît en certains lieux (1684, p. 81-82, note 24, 204-206, note 3) — repose sur le fait que, la vue s'éduquant par habitude, nous acquérons la faculté de corriger les erreurs de la vue : « Quand une longue habitude et une expérience aussi souvent reiterée qu'elle l'est à un âge parfait, a tant de fois corrigé les premières erreurs [...] on

Serlio ne répond à aucune contrainte physique qui rendrait son application impérative : il s'agit d'une option de correction intégrant pleinement l'espace de la conception.

L'architecturologie, qui a perçu le fait, fonde un exercice de conception sur cet exemple : « Soient les *temperaturae* de Vitruve [...] dans lequel l'ajustement optique constitue une opération : dessinez le modèle qui a eu fonction d'opérande, décrivez l'opération et caractérisez l'opérateur de cette opération » (Boudon et al., 1994, p. 139). Du point de vue architecturologique, la réponse est que l'opérande est une colonne et que l'opérateur est l'échelle optique. Il n'est cependant donné aucune indication sur la façon de procéder à la correction. L'exposé tente de faire comprendre le concept d'échelle optique en enchaînant des exemples : « Les *temperaturae* de Vitruve, c'est-à-dire le soin apporté à tempérer, à corriger les proportions en fonction du (ou des) point(s) de vue qui sont portés sur l'édifice relève très directement de l'échelle optique, comme c'est le cas des observations rappelées par Viollet-le-Duc concernant l'augmentation des dimensions des têtes relativement aux corps dans la statuaire gothique [...] » (Boudon, 1992, p. 141). Cette analyse communique l'intention qui fonde la correction des proportions, tandis que la procédure suivie par l'architecte est laissée dans l'ombre. Or, en se référant au traité de Serlio (ou à tout autre commentaire du *De architectura*), on constate que l'essentiel de l'exposé — qui vise l'attribution de mesures, et ne néglige pas les motivations que fonde cet ajustement optique — se situe sur un niveau opératoire en expliquant la procédure à suivre pour obtenir la correction (Figure 2). Reproduisons la règle d'ajustement :

« Si l'Architecte veut, dans un plan vertical, disposer des choses l'une sur l'autre de sorte qu'elles aient toutes la même grandeur apparente, celles du bas, comme celles du haut et celles du milieu, correspondant à leur distance respective : 1° d'abord, qu'il choisisse le lieu, soit une colonne, soit une tour, soit un mur (*an*), 2° qu'il fasse le choix de la distance la plus commode pour regarder cette chose, 3° et à hauteur de l'oeil (*s*), qu'il trace le quart d'un cercle (*a'n'*) dont l'oeil est le centre, 4° ensuite, sur le mur (*an*) où les choses doivent être disposées, qu'il tire une horizontale (*sa*) à hauteur de l'oeil, 5° et de cette ligne vers le haut, qu'il fasse la chose qu'il veut faire, de la grandeur (*ab*) dont il veut que toutes apparaissent, 6° puis, du sommet de la chose (*b*), qu'il tire une ligne (*bs*) jusqu'au centre de l'oeil, 7° et, là où cette ligne coupera le cercle (*b'*), qu'il divise le cercle en parts égales (*a', b', c' ... m'*), 8° et qu'il tire du centre (*s*) les lignes (*sa, sb, sc ... sm*) qui passent par les points du cercle et vont se ficher dans le mur (*an*). Ces divisions iront toujours croissant, de telle sorte qu'à cette distance elle paraîtront toujours d'une même grandeur ¹⁷ » (Serlio, 1619, fol. 8v).

L'interprétation que Serlio propose des *temperaturae* s'inscrit dans le projet de ramener toutes les intervalles réels à la même hauteur apparente. Sa lecture est « maximaliste » comme le fut, en son temps, celle de Dürer. Quoiqu'on puisse penser du besoin de « changer les grandeurs naturelles », nous trouvons ici une expression des opérations à suivre pour effectuer la correction optique. Étant fixés le cercle (*a'n'*), l'horizontale au niveau de l'oeil (*sa*), la première hauteur (*ab*), les opérations consistent à :

n'y retombe que rarement : car en effet il n'arrive gueres à personne d'avoir peur que le plancher d'une longue galerie luy touche à la teste quand il sera au bout » (Perrault, 1684, p. 204). *L'Encyclopédie* de d'Alembert et Diderot (1751-1780) fait, à mots couverts, état de la dispute de Perrault avec Blondel dans un article signé D. J. [le Chevalier de Jaucourt]. « [La proportion] c'est aussi la différente grandeur des membres d'architecture et des figures, selon qu'elles doivent paroître dans leur point de vüe. Ceci est une chose absolument soumise à cette partie de l'optique, qu'on appelle la perspective. Comme les regles de cette science sont connues et démontrées [...] il est étonnant que les Architectes soient partagés sur la proportion des membres d'architecture, par rapport à leur point de vüe ; cependant les uns prétendent qu'ils doivent augmenter, suivant leur exhaussement, et les autres qu'ils doivent rester dans leur grandeur naturelle » (Diderot et d'Alembert, 1751-1780, XIII, 468b).

¹⁷Nous avons introduit une littération inédite de la figure pour les besoins de la discussion.

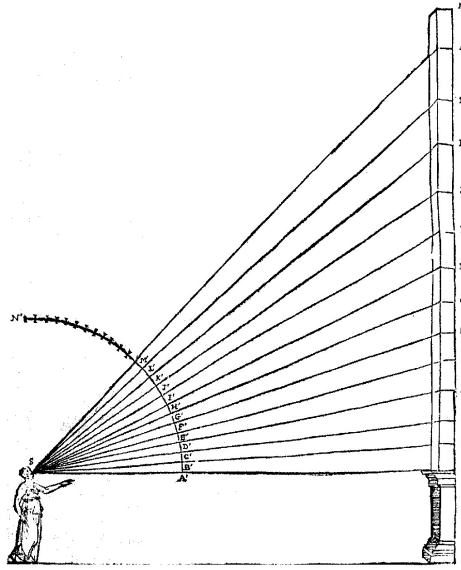


FIG. 2 – Sebastiano Serlio, L'ajustement optique (d'après Serlio, 1619, fol. 9)

1. *lier* (b, s) = rayon visuel bs
2. *couper* ($bs, a'n'$) = point b'
3. *diviser* ($a'n', a'b'$) = arcs $b'c', c'd' \dots l'm'$
4. *passer* (sc, c') = point c et hauteur bc , etc.

L'introduction des schèmes d'action permet d'écrire la série opératoire en ramenant toutes les manipulations d'objets à un même format. L'échelle optique étant connue, on posera par exemple :

$$lier_{optique}(b, s) = \text{rayon visuel } bs$$

La description procédurale de l'action est nécessaire. Imaginons en effet qu'on ait soumis le même problème à Claude Perrault. Étant donnés les mêmes paramètres (position du spectateur, distance au mur, choix de la première hauteur), l'auteur des *Dix Livres* eût évidemment recouru à une échelle optique pour déterminer les points ($a, b, c \dots m$). Mais, Perrault étant opposé aux « abus du changement de proportion », le jeu de mesures par lui proposé eût été fort différent du résultat précédent. La même échelle optique peut donc être à l'origine de deux jeux de mesures différents. Si l'analyse de l'opération de conception requiert le schème, c'est parce que la donnée de l'échelle est insuffisante pour reconstruire la règle serlienne. Ces présupposés peuvent être évités en explicitant les opérations par lesquelles l'architecte attribue des mesures pertinentes aux parties ($ab, bc \dots lm$), selon un point de vue donné.

4 La galerie de cloître de Villard de Honnecourt

Une hypothèse, permettant de comprendre pourquoi l'échelle architecturologique est considérée comme un opérateur, alors qu'elle dit peu de chose des manipulations d'objets auxquelles

se livre l'architecte, pourrait être qu'elle répond à la question fondamentale : « Pourquoi l'architecte a-t-il conçu son bâtiment ainsi ? » Afin d'éviter toute surinterprétation, prenons un autre exemple classique de l'architecturologie : la transformation d'une galerie de cloître par Villard de Honnecourt (*Carnet*, 1986, fol. 39 k, Figure 3). Boudon donne le commentaire suivant de l'opération de conception :

« Villard de Honnecourt ne nous dit-il pas comment produire un cloître dont la surface de la galerie serait égale à la surface de la cour ? Reste qu'il ne nous dit pas pourquoi, diable, il faudrait qu'une cour de cloître soit de même surface que la galerie... ce qui pourrait apparaître comme la véritable opération à laquelle se livre le concepteur » (Boudon, 1995, p. 262).

En liant les opérations de conception à la question du pourquoi, l'auteur suggère qu'une étude des faits de conception ne peut pas faire l'économie des raisons pour lesquelles l'architecte a agi, sans quoi l'action du concepteur resterait inintelligible. Mais il y a, dans la proposition de Villard, deux aspects complémentaires : le caractère intentionnel de l'action (*pourquoi*) et le caractère procédural de l'action (*comment*). Une analyse de la seule question du pourquoi risquerait d'introduire une asymétrie dans la connaissance de l'action, en reléguant l'opérateur pur au second plan. Deux analyses doivent donc être menées de front : (i) une analyse procédurale, décrivant comment l'architecte a donné des mesures à la galerie du cloître ; (ii) une analyse intentionnelle, expliquant pourquoi l'architecte lui a donné ces mesures.

Il convient tout d'abord de se demander si cette opération de conception peut être rendue par un jeu d'échelles, auquel cas l'introduction de l'opérateur schème ne se justifierait pas. La réponse est négative. L'auteur éprouve le besoin d'indiquer, dans une note, la démarche suivie par Villard de Honnecourt : « Sa solution est de *joindre* les milieux des côtés du carré extérieur, ce qui produit un carré de moitié en surface, puis de faire *pivoter* le carré obtenu... » (Boudon, 1995, p. 262, mes italiques). Cet exposé procédural est nécessaire, quoiqu'il n'implique aucun concept architecturologique. Villard ne suit d'ailleurs pas cette méthode, qu'il réserve à la taille de la pierre (*Carnet*, 1986, fol. 39 o), mais une méthode voisine exposée au même folio :

« Par chu fait om on clostre autretant es voies com el prael [Par ce moyen on fait un cloître, en donnant autant aux voies qu'au jardin] » (*Carnet*, 1986, fol. 39 k).

Le fait qu'on puisse suivre l'une ou l'autre méthode pour parvenir au même résultat montre que la procédure n'est pas déductible de l'énoncé. Elle doit être exposée. Considérons la méthode du fol. 39 k, qui consiste à déterminer le centre du grand carré par ses diagonales ; à tracer le cercle inscrit au grand carré ; et à joindre les points d'intersection du cercle avec les diagonales du carré. Voici la série opératoire :

1. *lier* (a, c) = première diagonale
2. *lier* (b, d) = deuxième diagonale et centre o
3. *tourner* ($o, r; 2\pi$) = cercle or et points e, f, g, h
4. *lier* (e, f) = côté haut
5. *lier* (f, g) = côté droit
6. *lier* (g, h) = côté bas
7. *lier* (h, e) = côté gauche

Nous donnons à la suite le détail de la construction du carré de demi-surface, selon les deux méthodes indiquées par Villard de Honnecourt (*Carnet*, 1986, fol. 39 k et o, Figure 4).

Quelles étaient les intentions de Villard de Honnecourt ? Nous n'en savons rien. Il n'est pas impossible qu'une échelle symbolique ait été à l'oeuvre, puisque le rapport entre les côtés est un

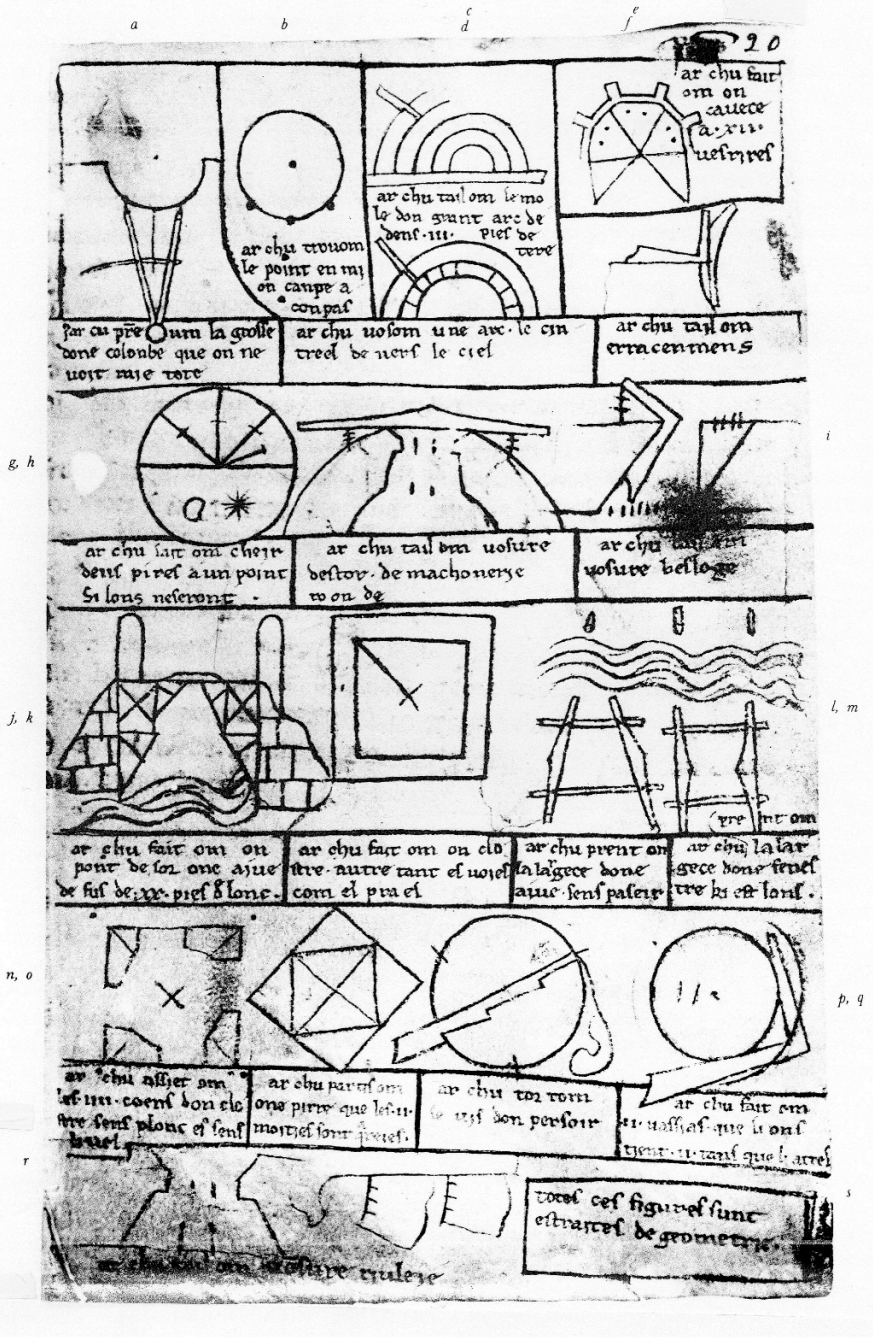


FIG. 3 – *Carnet de Villard de Honnecourt* (1986). Paris, BnF, fol. 39 (figures k et o)

nombre irrationnel. Les motifs du maître maçon n'étant pas connues, on peut aussi penser que le but de Villard était de constituer un memento pratique. Un des meilleurs spécialistes de Villard

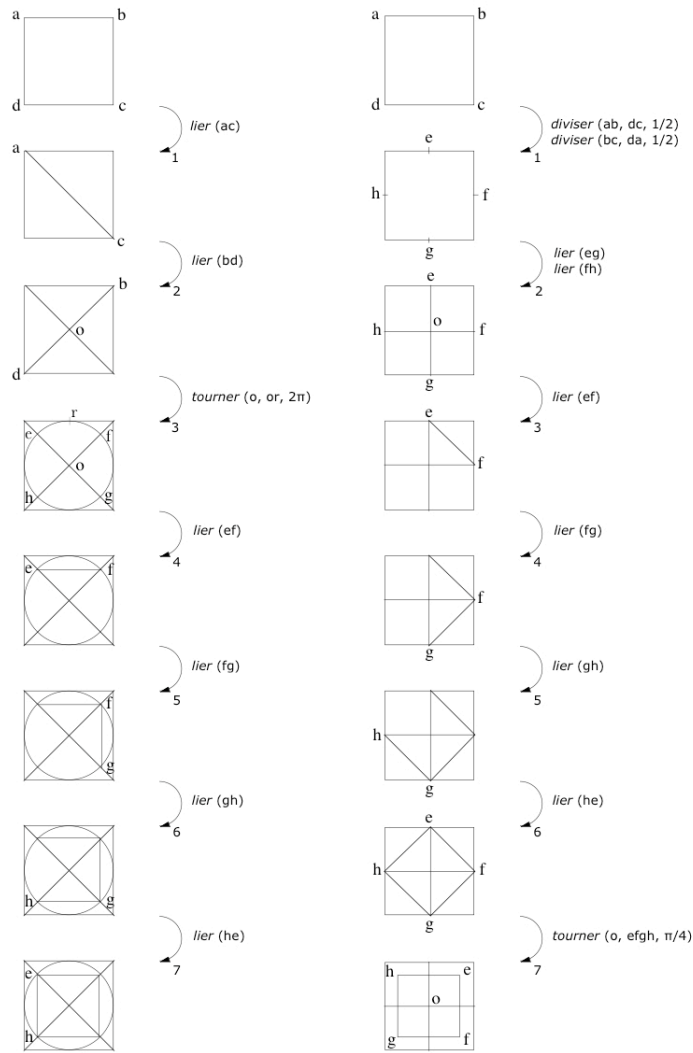


FIG. 4 – Villard de Honnecourt, Séries opératoires ; à gauche : méthode 1 (fol. 39 k) ; à droite : méthode 2 (fol. 39 o).

de Honnecourt écrit en ce sens : « Villard de Honnecourt suit ici les préceptes de l'*ars memorandi* tel qu'ils ont été exposés par divers auteurs de l'Antiquité et du Moyen Âge, de Cicéron à Saint Thomas d'Aquin et à Albert le Grand » (Bechmann, 1991, p. 318).

En essayant de faciliter la mémorisation des rapports entre la galerie et le jardin, Villard aurait raisonné sur une échelle économique. Écrivons :

$$tourner_{\text{économique}}(efgh, o, \frac{\pi}{4}) = \text{carré intérieur}$$

On peut associer cette traduction propositionnelle à une représentation graphique du type :



Si l'analyse de cette opération de conception requiert, comme dans les exemples précédents, un schème et une échelle, cela signifie que la modélisation exposée ailleurs (Raynaud, 1999) vaut également dans le cas de la conservation du modèle morphologique. L'opération de conception s'exprime par la donnée de l'échelle, qui rend compte de son caractère intentionnel et des modalités d'application, et par la donnée du schème, qui introduit la description procédurale de l'opération. Il est donc utile — même dans le cas d'un simple ajustement dimensionnel — d'introduire une description procédurale de l'action du concepteur.

5 Des rapports entre schème et échelle

L'analyse des projets de Gio Ponti, Sebastiano Serlio et Villard de Honnecourt montre que les opérations de conception qui concernent l'ajustement dimensionnel se ramènent toutes à une forme canonique, centrée sur un schème-opérateur. La description que nous venons d'introduire peut être étendue à la plupart des exemples du *Cours d'architecture*, dans lesquels on constate toujours la présence, plus ou moins implicite, d'une manipulation d'objet :

1. *sortir* les contreventements en façade (échelle technique) ;
2. *agrandir* la fenêtre par un encadrement (échelle optique) ;
3. *ajouter* une marche sur le palier (échelle socio-culturelle) ;
4. *réduire* le périmètre du Panthéon (échelle économique) ;
5. *répéter* le coulage dans un même coffrage (échelle économique) ¹⁸.

Tous ces exemples donnent lieu à une même écriture, qui est à même de spécifier à la fois le caractère intentionnel et procédural de l'action de conception :

$$scheme_{echelle}(\text{modèle}) = \text{résultat}$$

Si l'opérande sur lequel porte l'opération de conception architecturale ne pose pas de problème d'identification (il s'agit, dans le présent article, du modèle soumis à une rectification dimensionnelle), il n'en va pas de même de l'opérateur qui a jusqu'à présent été identifié à l'échelle (Boudon, 1992, p. 179-180 ; Boudon et al., 1994, p. 131).

L'introduction du schème comme opérateur de conception exige en retour un éclaircissement des rapports entre schème et échelle. Doit-on considérer que l'échelle n'est pas un opérateur de conception (puisque le schème exprime les manipulations d'objets auxquelles se livre l'architecte) ou bien doit-on penser que l'échelle est un co-opérateur de conception, qui rend compte d'autres aspects des actions de conception ? Une mise au point sur les opérations et les opérateurs s'impose avant de choisir entre ces possibilités.

¹⁸Tous ces exemples sont donnés par Boudon et al. (1994, p. 167, 175, 176, 180).

5.1 Arguments du premier terme de l'alternative

Le premier terme de l'alternative, qui consiste à ne plus considérer l'échelle comme un opérateur, recueille trois arguments.

1° Ce choix induit un usage conforme au concept classique d'opération. Ainsi, une opération mathématique ne comporte aucun terme explicitant les motivations du mathématicien (cf. Desclés, 1981). De même, l'opération chirurgicale et l'opération boursière ignorent les raisons de procéder du chirurgien et de l'acteur économique, sans doute parce que, dans chacun de ces cas, les motifs sont supposés stables et connus. L'opération répondant à un but précis, l'opérateur ne porte que sur le caractère procédural de l'action : il exprime le comment de l'action. C'est pourquoi le schème, qui caractérise l'action entreprise par l'architecte, s'approche des travaux d'informatique fondamentale sur les verbes « opérateurs à n places » (Desclés, 1985 ; Desclés et Richard, 1998). Il n'existe pas, à ma connaissance, de travail équivalent qui serait à même de conforter l'hypothèse de l'échelle architecturologique comme opérateur.

2° Il existe une tension très nette entre les textes qui présentent l'échelle comme une réponse à la question du *pourquoi* (Boudon, 1995, p. 262) et ceux qui la présentent comme une réponse à la question du *comment* (Boudon, 1992, p. 116). Cette tension est d'autant plus nette que l'auteur hérite de l'anti-essentialisme de Popper, qui présente la question du comment comme étant la seule à engager une analyse scientifique : « Les nominalistes en méthode poseraient leurs problèmes dans des termes tels que “comment se comporte ce morceau de matière ?”, ou “comment se meut-il en présence d'autres corps ?”. Car les nominalistes méthodologiques soutiennent que la science n'a pour tâche que de décrire le comportement des phénomènes » (Popper, 1988, p. 38).

Pour que l'échelle conserve son statut d'opérateur au sens classique du terme, il faudrait alors qu'elle renonce à sa dimension intentionnelle.

5.2 Arguments du second terme de l'alternative

Le deuxième terme de l'alternative, qui consisterait à voir le schème et l'échelle comme des co-opérateurs de la conception architecturale, réunit d'autres arguments.

1° L'architecte, contrairement au mathématicien, au chirurgien et à l'acteur économique, ne joue pas à un jeu d'actions finalisées tendues vers un but unique. Dans le sillage de Herbert A. Simon (1983, 1991) on doit admettre que la conception architecturale est une situation de problème à buts multiples et à solutions sous-optimales¹⁹ (Raynaud, 1999, p. 36-37). En ce cas, les buts que s'est assigné le concepteur ne sont pas présumés par son activité. Si l'on peut imaginer pourquoi le chirurgien pratique l'ablation de la vésicule biliaire, il est plus difficile de savoir pourquoi Villard de Honnecourt construit un cloître dont la galerie et le jardin ont la même surface. . . Si la réponse au pourquoi peut être sous-entendue dans une activité à but unique, elle doit être explicitée dans le cadre d'une activité à buts multiples.

2° Lorsque Popper rapproche la question du *comment* de l'anti-essentialisme, il pense spontanément à des exemples physiques. Mais si « la science n'a pour tâche que de décrire le comportement des phénomènes » (Popper, 1988, p. 38), cette tâche diffère selon que l'on traite du comportement physique ou du comportement humain. Une telle différence est régulièrement

¹⁹Cette formule équivaut à celle de solutions *satisficing* qui n'apparaissent que dans les cas où l'activité n'est susceptible ni d'une maximisation, ni d'une optimisation. Føllesdal, appliquant l'idée d'une rationalité de l'acteur dépendante de la situation, dit que l'action dépend « de la perception partielle de la situation, de la quantité limitée d'informations, de son imagination limitée et du temps limité dont il dispose pour examiner les différentes possibilités » (Føllesdal, 1991, p. 165). L'activité du mathématicien échappe à la classe des solutions *satisficing*, en raison de son caractère unimodal. Simon (1973) va plus loin en identifiant des « problèmes mal définis », idée appliquée à la conception par Rowe (1987), Conan (1990), Holyoak (1995).

explicitée par la philosophie analytique de l'action, qui n'emploie le terme d'action que pour désigner des mouvements intentionnels (Anscombe, 1957 ; Davidson, 1980 ; Bilodeau, 2000). Or, c'est bien l'intentionnalité du concepteur — dont l'échelle nous transmet une partie — qui fait ici la différence. L'analyse physique est insensible à la question du pourquoi, alors qu'une théorie de l'action humaine doit la prendre en considération.

5.3 Le schème et l'échelle, co-opérateurs

Le choix entre les deux alternatives n'est donc pas aisé. Il ne peut provenir que d'une préférence sous-jacente quant au besoin de maintenir une unité de traitement entre toutes les sciences ou d'affirmer la singularité des sciences de la conception. Il existe toutefois une façon de départager ces alternatives en examinant si le sens le plus immédiat des opérateurs schème et échelle sont conflictuels ou non. Reprenons, à dessein, l'un des exemples étudiés dans cet article ; savoir l'ajustement optique proposé par Serlio et essayons de faire jouer toutes les définitions au sein du modèle :

1. *raison d'agir*. Il suffit de poser la question : pourquoi Serlio fait-il un changement de proportions ? pour suggérer une réponse au format téléologique : afin [c'est-à-dire : « à fin »] de faire apparaître égales des parties de l'édifice inégalement exposées à l'oeil du spectateur.
2. *référenciation*. Les considérations de Serlio sur la perception visuelle (1619, fol. 8v) font explicitement référence à l'échelle optique. Plus précisément, l'intention de l'architecte induit une sélection de ressources et d'outils liés à l'aspect visuel de l'architecture, à la façon dont on appréhende un bâtiment sous un point de vue donné.
3. *découpage*. Il est aisé de voir que l'action de Serlio sur ces éléments, qu'il suppose être disposés l'un sur l'autre, affecte exclusivement leur hauteur. C'est l'entité sur laquelle porte l'opération de conception.
4. *schème*. Serlio recourt ensuite à une construction géométrique, qui suppose une série d'opérations. Il s'agira, par exemple, de *lier* deux points de manière à faire apparaître un rayon visuel bs , de *couper* l'arc de cercle $a'n'$ par le rayon bs de manière à déterminer le point de construction b' , etc.
5. *dimensionnement*. L'enchaînement de ces opérations conduit à une détermination des mesures à donner aux éléments. Supposons, en revenant à la figure du fol. 9 (Planche 2), que le spectateur soit à 6 m du mur, et que le premier élément ab fasse 1 m de hauteur. L'angle \widehat{ASB} , sous lequel cet élément est vu, mesure alors : $\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{AB}{SA}\right) = 9,46^\circ$. La projection sur le mur d'arcs égaux sous-tendus par un angle de $9,46^\circ$ fixe alors les intervalles : $AB = 1,00$ m, $BC = 1,06$ m, $CD = 1,18$ m, etc.

Quatre opérations de conception ont donc été utilisées : trois confondues dans l'échelle (référenciation, découpage, dimensionnement), une correspondant à l'opérateur schème. Quoi qu'il en soit de cette asymétrie, ces opérateurs ne sont pas dans un rapport conflictuel, car ils concernent des champs de pensée et d'action distincts. Spécifions davantage l'échelle par rapport au schème :

1. L'échelle, en tant que *référenciation*, évoque une dimension intentionnelle de la conception, mais elle ne recouvre pas totalement la raison d'agir de l'architecte. La raison d'agir fait état d'une orientation concrète de la pensée ; l'échelle est une classe. La raison d'agir explicite la finalité de l'action ; la référenciation mobilise des moyens pour satisfaire cette raison d'agir.
2. L'échelle, comme *référenciation et découpage*, ne se confronte pas au schème, car les deux opérations de l'échelle expriment des « opérations cadres », qui s'attachent davantage à décrire l'environnement sur lequel agit l'architecte, que la transformation concrète qu'il opère sur le projet. Sélectionner la partie à laquelle on va donner une mesure (découpage)

est une opération indispensable, mais ce n'est qu'un préalable à celles qui sont décrites par des schèmes, lesquelles présentent un caractère opératoire plus net et un lien plus direct avec le résultat obtenu.

3. L'échelle, comme *dimensionnement*, mérite un examen complémentaire. Le schème offre une représentation commode des opérations d'attribution de formes et mesures à un objet virtuel. Lorsque le schème décrit une opération de mise en forme, il n'est pas impliqué dans le dimensionnement ; le conflit entre les deux opérateurs est alors écarté. Lorsque le schème confère une mesure, on peut considérer le dimensionnement comme une « opération globale » spécifiée par des schèmes. Il faut noter ici que l'échelle dimensionnement est toujours définie comme « relation entre ce qui est mesuré et l'instrument de mesure » (Boudon et al., 1994, p. 151), ce qui donne le nom d'opération, non pas à la procédure opératoire de dimensionnement, mais à la mise en relation des données et des ressources pour procéder à ce dimensionnement. L'opération de dimensionnement a donc le statut d'une « opération cadre ».

Les opérateurs schème et échelle sont donc d'un type différent. Le *schème* témoigne d'une approche procédurale de l'action de conception, qui examine pas à pas l'action du concepteur sur l'objet virtuel. L'*échelle* relève d'une approche écologique de l'action de conception, qui décrit les outils intellectuels mis en oeuvre pour que les manipulations d'objets puissent avoir lieu (sélectionner un ensemble d'outils pertinents pour résoudre le problème, isoler par la pensée l'élément sur lequel va porter l'opération).

6 Conclusion

Revenons aux deux types de changement d'état caractérisant le processus de conception ; et résumons les deux articles consacrés au schème comme opérateur de conception.

1° Si le modèle morphologique est transformé, l'étude des changements d'état rend nécessaire l'introduction du schème comme opérateur de conception (Raynaud, 1999).

2° Si le modèle morphologique est conservé, les changements d'état, qui constituent une rectification dimensionnelle du modèle, doivent également être explicités à partir du schème.

Nous sommes alors en mesure de tirer des conclusions de portée générale de ces deux études des opérations de conception en architecture.

Première conclusion. Dans tous les projets étudiés (Mies van der Rohe, Norman Foster, Philibert de l'Orme, Gio Ponti, Sebastiano Serlio, Villard de Honnecourt), le schème constitue un opérateur de la conception architecturale, que le changement d'état induise une transformation du modèle ou non, que l'ajustement des mesures résulte d'une série opératoire simple ou complexe.

Seconde conclusion. L'analyse épistémologique du schème et de l'échelle précise que ces concepts ne peuvent pas se substituer l'un à l'autre. L'échelle et le schème, n'intervenant ni selon le même point de vue, ni sur les mêmes aspects de la conception, peuvent être considérés, au moins provisoirement, comme des co-opérateurs de la conception architecturale.

7 Références

- Alexander, C. 1971. *De la synthèse de la forme* (1964). Paris, Dunod, 187 p.
- Anscombe, G.E.M. 1957. *Intention*. Oxford, Basil Blackwell, 298 p.
- Banham, R. 1961. Pirelli Criticism. *The Architectural Review*, 129 : 194-200.
- Bechmann, R. 1991. *Villard de Honnecourt. La pensée technique au XIIIe siècle et sa communication*. Paris, Picard, 384 p.

- Bilodeau, R. 2000. Philosophie de l'action. In : P. ENGEL (éd.), *Précis de philosophie analytique*. Paris, PUF, p. 189-212.
- Boudon, Ph. 1978. *Richelieu, ville nouvelle. Essai d'architecturologie*. Paris, Dunod, 186 p.
- Boudon, Ph. 1992. *Introduction à l'architecturologie*. Paris, Dunod, 258 p.
- Boudon, Ph. 1995. Existe-t-il des opérations de conception architecturale? In : R. PROST (éd.), *Concevoir, inventer, créer*. Paris, L'Harmattan, p. 259-276.
- Boudon, Ph. et Deshayes, Ph. 1992. *Introduction à la complexité de la conception architecturale : Stanislas Fiszer*. Paris, Rapport de recherche, Plan-Construction/BRA, 132 p.
- Boudon, Ph., Deshayes, Ph., Pousin, F., Schatz, F. 1994. *Enseigner la conception architecturale. Cours d'architecturologie*. Paris, Éditions de la Villette, 316 p.
- BOUDON, Ph. et DESHAYES, Ph. (éds.) 1997. *Les sciences de la conception sont-elles enseignables ?* Aix-en-Provence, Dossier MCX 12, Association européenne du Programme Modélisation de la CompleXité, 317 p.
- Callon, M. 1996. Le travail de la conception en architecture. *Cahiers de la Recherche architecturale*, 37 : 25-35.
- Carnet de Villard de Honnecourt*. 1986. D'après le manuscrit conservé à la Bibliothèque nationale de Paris, présenté et commenté par Alain Erlande-Brandebourg et al. Paris, Stock, 126 p.
- Conan, M. 1981. *Le processus de conception architecturale*. Paris, CSTB-Plan Construction, 248 p.
- Conan, M. 1990. *Concevoir un projet d'architecture*. Paris, L'Harmattan, 185 p.
- Davidson, D. 1980. *Essays on Actions and Events*. Oxford, Clarendon Press, 304 p.
- Desclés, J.P. 1981. De la notion d'opération à la notion d'opérateur. *Mathématiques et Sciences humaines*, 76 : 5-32.
- Desclés, J.P. 1985. *Représentation des connaissances : archétypes cognitifs, schèmes conceptuels, schèmes grammaticaux*. Paris, CNRS Editions, 51 p.
- DESCLÉS, J.P. et RICHARD, J.F. (éds.) 1998. *Langages*, 32 (132), n° spécial : « Cognition, Catégorisation, Langage ».
- Desideri, P., Nervi, P.L., Positano, G. 1982. *Pier Luigi Nervi*. Zürich, Verlag Artemis, 239 p.
- DIDEROT, D. et D'ALEMBERT, J. Le Rond (éds.) 1751-1780. *Encyclopédie, ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*. Paris, Briasson, 34 vols.
- Føllesdal, D. 1991. Le statut de la rationalité dans l'interprétation et dans l'explication de l'action (1982). In : M. NEUBERG (éd.), *Théorie de l'action*. Liège, Mardaga, p. 156-176.
- Holyoak, K.J. 1995. Problem Solving. In : E.E. SMITH et D.N. OSHERSON (eds.), *An Invitation to Cognitive Science*, vol. 3 : *Thinking*. Cambridge, The MIT Press, p. 267-296.
- Irace, F. 1988. *Gio Ponti. La casa all'italiana*. Milano, Electa Spa, 203 p.
- Montlibert, C. de, 1995. *L'impossible autonomie de l'architecte. Sociologie de la production architecturale*. Strasbourg, Presses universitaires de Strasbourg, 227 p.
- Perrault, C. 1684. *Les Dix Livres d'architecture de Vitruve, corrigez et traduits nouvellement en François*. Paris, Jean Baptiste Coignard, 354 p.
- Pincherle, S. 1912. Équations et opérations fonctionnelles, In : J. MOLK (éd.), *Encyclopédie des sciences pures et appliquées*. Paris, Gauthier-Villars, tome 2, vol. 5, fasc. 1, p. 1-81.
- Ponti, G. 1956. Espressione dell'edifizio Pirelli in costruzione a Milano. *Domus*, 316 : 1-16.

- Ponti, G. 1960. *Edilizia Moderna*, 71, n° spécial : « Il Centro Pirelli ».
- Ponti, L. 1990. *Gio Ponti. The Complete Work 1923-1978*. Milano, Passigli Progetti, 288 p.
- Popper, K.R. 1988. *Misère de l'historicisme* (1957). Paris, Plon, 214 p.
- Prost, R. 1992. *Conception architecturale : une investigation méthodologique*. Paris, L'Harmattan, 190 p.
- PROST, R. (éd.) 1995. *Concevoir, inventer, créer*. Paris, L'Harmattan, 337 p.
- Rathier, F. et Tapie, G. 1993. *Processus de conception et activités architecturales*. Rapport de recherche Plan Construction, MELT-DAU-BRA, Bordeaux, Ecole d'architecture de Bordeaux, 116 p.
- Raynaud, D. 1998. *Architectures comparées*. Marseille, Parenthèses, 164 p.
- Raynaud, D. 1999. Le schème, opérateur de la conception architecturale. *Intellectica*, 29 : 35-69.
- Raynaud, D. 2003. Le schème, d'un point de vue nominaliste et pragmatiste. In : Ph. BOUDON (éd.), *Langages singuliers et partagés de l'architecture*. Paris, L'Harmattan, p. 109-133.
- Rowe, P. 1987. *Design Thinking*. Cambridge, The MIT Press, 229 p.
- Scaletsky, C. 2004. The Kaleidoscope System to Organize Architectural Design References. *International Journal of Architectural Computing*, 2(3) :351-369.
- Serlio, S. 1619. *Tutte l'opere d'architettura, et prospetiva*, di Sebastiano Serlio Bolognese, [...] diviso in sette libri [...]. Venetia, Giacomo de' Franceschi, pag. mult.
- Simon, H.A. 1973. The Structure of Ill-Structured Problems. *Artificial Intelligence*, 4 : 181-200.
- Simon, H.A. 1983. *Models of Bounded Rationality*. Cambridge, The MIT Press, 2 vols., 478+505 p.
- Simon, H.A. 1991. *Sciences des systèmes. Sciences de l'artificiel*. Paris, Dunod, 229 p.
- Viganò, V. 1956. Immeuble Pirelli, Milan. *Architecture d'Aujourd'hui*, 64 : 1-5.
- Vitruve, M.P. 1990. *De l'architecture*, livre III. Texte établi, traduit et commenté par Pierre Gros [...]. Paris, Les Belles Lettres, 221 p.
- Wetzel, J.P., Bignon, J.C. et Belblidia, S. 2006. A Proposal for Morphological Operators to Assist Architectural Design. In : J.P. VAN LEUWEN et H.J.P. TIMMERMANS (eds.), *Innovations in Design and Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning*. Dordrecht, Springer, p. 409-418.