

IMAGINER L'ESPACE ET SPATIALISER L'IMAGINAIRE

Nouvelles technologies de visualisation
en conception architecturale

Sabine PORADA

La pensée visuelle n'est pas une notion nouvelle pour la conception architecturale. L'architecte s'est toujours servi d'elle, plus ou moins explicitement, pour concevoir l'environnement artificiel de l'homme. *l'artefact*, qui exige pour sa création des connaissances artistiques, techniques et scientifiques.

Dans la définition de « l'activité artistique » donnée par le dictionnaire de philosophie, l'architecture occupe la première place, suivie par la sculpture, la peinture, la danse, la musique et la poésie. L'activité artistique de l'architecte se traduit par sa *réflexion esthétique* permanente sur la mise en forme poétique et plastique.

Par ailleurs, les sciences humaines et l'ingénierie nourrissent une *réflexion analytique et pratique* sur les contenus et moyens de cette mise en forme, car l'architecture est une discipline du sens tout autant que du solide.

L'art, la science et la technique étant en œuvre dans la création de l'environnement, le problème de la conception architecturale est essentiellement celui de leur *synthèse*. Agissant en permanence au cours de l'élaboration du projet, la *pensée vi-*

suelle était depuis toujours le seul garant et l'unique moyen permettant aux architectes de résoudre ce problème et même d'affirmer que « l'architecture est un art de synthèse » (1)

Technologie et création

Il est naïf de croire qu'une technologie nouvelle, en remplaçant le processus de conception traditionnel par un processus informatisé, engendra spontanément une synthèse supérieure, plus performante, et donc une architecture nouvelle.

Les premières tentatives de ce genre, faites dans les années 60-70, se sont soldées par un échec fulgurant, nous y reviendrons plus loin. Disons pour l'instant qu'en l'absence à cette époque d'outils de visualisation, tous les efforts d'informatisation étaient focalisés sur les seuls aspects analytiques de conception qu'on savait formaliser, tous les autres leur étant soumis ou simplement ignorés. Sans une véritable alliance entre tous les aspects déterminant, l'artefact, « l'art de synthèse », se transforme en « science de l'artificiel » (2). Mais *la science de l'artificiel n'est pas la science de conception de l'artificiel*. La conception est bien différente de son résultat. La science de l'artificiel permet d'analyser l'architecture existante, mais elle ne peut assurer la création d'un nouvel espace, sans qu'il ne devienne justement trop artificiel. Si l'informatisation du processus de conception doit se fonder sur la science, il faut que cette science permette la formalisation des principes d'action de la pensée visuelle, puisque elle seule peut assurer la synthèse des trois domaines : scientifique, technique et artistique.

Le problème principal de la conception, répétons-le, étant justement la synthèse, le rôle de la pensée visuelle devient évident pour la profession, qui s'oppose dans sa majorité à ce processus informatisé, qui ne prend en compte que les aspects analytiques.

(1) Il sera utile de signaler qu'à tort ou à raison, dans leurs esprits et dans leur propos, les architectes assimilent toujours leur démarche artistique à l'activité *de synthèse* et leur démarche scientifique et technique à celle *d'analyse*.

(2) SIMON, 1984

Désespérant de gagner le marché de la conception architecturale, la technologie se lance dans les domaines de production des plans et de communication du projet final. Dans les années 80, elle propose pour la première fois, communication oblige, les outils de représentation et de visualisation.

Il faut préciser qu'en conception architecturale on peut distinguer au moins trois types de représentation du projet, qui servent successivement les trois phases de conception :

- *création du concept* (esquisses, croquis, textes, schémas, maquette sommaire),
- *production du projet* (plans, coupes, différents documents),
- *communication du résultat* (maquette finale, images de communication).

Étant donné que les représentations de la production du projet et de sa communication sont fortement codifiées et standardisées, il était beaucoup plus facile de les formaliser. Ces représentations ne se fabriquent qu'au moment où le parti architectural, le concept de mise en forme proprement dit, est déjà élaboré. De plus, elles ne demandent que des connaissances techniques pour la production des documents, ou des connaissances artistiques pour les images de communication du projet. Traditionnellement ces représentations étaient souvent déléguées par les architectes aux dessinateurs ou aux peintres.

Il en est autrement des *représentations conceptuelles* : elles ne sont pas standardisées et peuvent prendre de multiples formes allant des signes, symboles, diagrammes et schémas les plus abstraits aux images les plus concrètes. Grâce justement à cette multiplicité et cette diversité des niveaux de représentation, la pensée visuelle peut guider pas à pas la synthèse de la forme. En tenant compte de l'importance et de la spécificité des représentations conceptuelles, essayons de voir lesquels parmi les divers outils technologiques de visualisation sont aptes d'ores et déjà à reproduire cette complexité.

L'infographie montre bien qu'au sein d'une même branche technologique des outils de potentialité inégale pour la créa-

tion spatiale peuvent exister. Ainsi, l'appellation « image de synthèse » sème-t-elle la confusion entre les deux types de représentation : l'un produit par la palette graphique en 2D et l'autre qui reflète un modèle mathématique en 3D. La palette graphique 2D reconstitue de manière électronique les gestes traditionnels du peintre et du dessinateur. Les images de communication du projet déjà élaboré peuvent facilement se faire à l'aide de tels outils.

En revanche, nous allons voir que l'infographie tridimensionnelle, de par sa capacité nouvelle à produire des modèles, peut fortement rapprocher les méthodologies différentes : scientifique et artistique. De ce point de vue elle ressemble à la conception architecturale.

L'infographie 3D se définit comme un domaine de création d'images de synthèse issues des modèles infographiques (mathématiques et informatiques) en trois dimensions. De ce fait, les images qu'elle produit se caractérisent par trois aspects essentiels qui les différencient d'autres types d'images informatiques ou manuelles :

- par la nécessité d'élaborer un modèle virtuel de référence, que ces images ne feront que refléter (*simulation spatiale*),
- par leur production à partir de descriptions langagières (*écriture informatique*),
- par leur destination le plus souvent filmique (*animation*).

La nécessité de créer un modèle spatial rapproche le procédé et même l'œuvre infographique de la sculpture plutôt que de l'œuvre peinte. Le procédé de l'animation fait d'elle une œuvre de type filmique. Mais, à la différence du film, cette œuvre, ne reflétant que le monde virtuel, est entièrement fictive.

On peut donc la comparer à la fois à la sculpture, à l'image et au film, à cela près qu'elle est produite au moyen d'une écriture formelle, car le modèle infographique ne peut pas se réaliser avant d'être « écrit ». Sa conception passe donc par l'écriture d'un texte formel où le verbe ne se contente plus d'évoquer ou de décrire, mais devient opérationnel. Même si l'expression formelle n'a pas la force suggestive d'une métaphore ni la vertu heuris-

tique d'une image, en dirigeant le processus de simulation et de visualisation sur écran, elle assure le lien entre les différentes représentations géométrique, iconique et temporelle. Sont-elles comparables aux images conceptuelles du projet en gestation, qui intègrent les compétences des modèles aussi bien que la performance de l'expression artistique ? Pour exprimer tous les aspects de la création spatiale, il faudrait peut-être que l'écriture infographique, en plus du verbe, accepte le silence, les syllabes et les mots emphatiques, ainsi que des images et des gestes. Sans cela elle ne pourra jamais « assister » véritablement la conception. Mais aujourd'hui cette écriture formelle n'est certainement pas capable de traduire toutes ces dimensions. En construisant l'espace cognitif de simulation, saura-t-elle du moins nous éclairer sur le processus de la création spatiale ?

Prototype architectural, étalon visuel et descriptif

L'architecture classique avait un outil puissant de description et de représentation des concepts : *le prototype*. Il a toujours joué un rôle important et complexe en conception architecturale. Fondement de l'architecture « artisanale », il a constitué une sorte d'*étalon conceptuel*, visuel et descriptif. En décrivant l'artefact et non l'objet naturel, le prototype architectural se basait sur des schémas génériques professionnels, incluant non seulement la description de sa morphologie mais aussi tout le savoir-faire, les normes, les règles et les moyens de sa conception et de sa fabrication. *Les prototypes globaux* décrivaient la typologie des objets et *les prototypes élémentaires* leurs différentes parties. L'identification d'élément architectural à travers le mot, dans une conception basée sur le prototype, a permis d'organiser l'ensemble des prototypes en un système typologique formant le noyau de la culture professionnelle, une sorte de *langage professionnel*

fortement codifié. L'enseignement de ce langage transformait les schémas de pensée communs en schémas mentaux professionnels (Tabl. 1). La preuve en est que, sans aucune obligation de recourir au dessin, il suffisait de nommer un élément architectural « voûte d'ogive », par exemple, pour évoquer chez un professionnel la forme et le savoir-faire qui mène à sa production (Fig. 1).

La notion même de professionnalisme en conception classique impliquait la maîtrise des prototypes. De multiples traités d'architecture, en commençant par le traité de Vitruve, – hormis des règles, des prescriptions et des connaissances spécifiques – proposaient sous forme graphique et descriptive ces étalons nécessaires à la conception et à la construction (3). Leur place est restée centrale dans tous les cours d'enseignement académique jusqu'à l'avènement de l'architecture moderne qui les met en question. Avant cette époque les prototypes se sont modifiés selon le rythme plus ou moins lent d'évolution des « savoir-vivre », « savoir-produire » et « savoir-concevoir ». Les modifications de l'un de ces trois aspects nécessitaient l'adaptation partielle du prototype. Il conservait néanmoins l'invariant de sa structure globale, garantissant en même temps l'évolution et la transmission des traditions culturelles.

Les changements rapides et simultanés de l'ensemble des trois domaines : fonctionnement, production et conception, placent l'architecture moderne devant la nécessité de chercher des solutions hors des prototypes existants (4).

En réalité, la conception sans prototypes a été sollicitée chaque fois qu'apparaissait la nécessité d'inventer un prototype nouveau. Cependant, il en va différemment pour l'architecture moderne : non seulement le progrès technique et les changements culturels et sociaux profonds ont créé une rupture dans le stock des prototypes, mais encore la conception architecturale a-t-elle engendré par elle-même un

(3) ENCYCLOPÉDIE

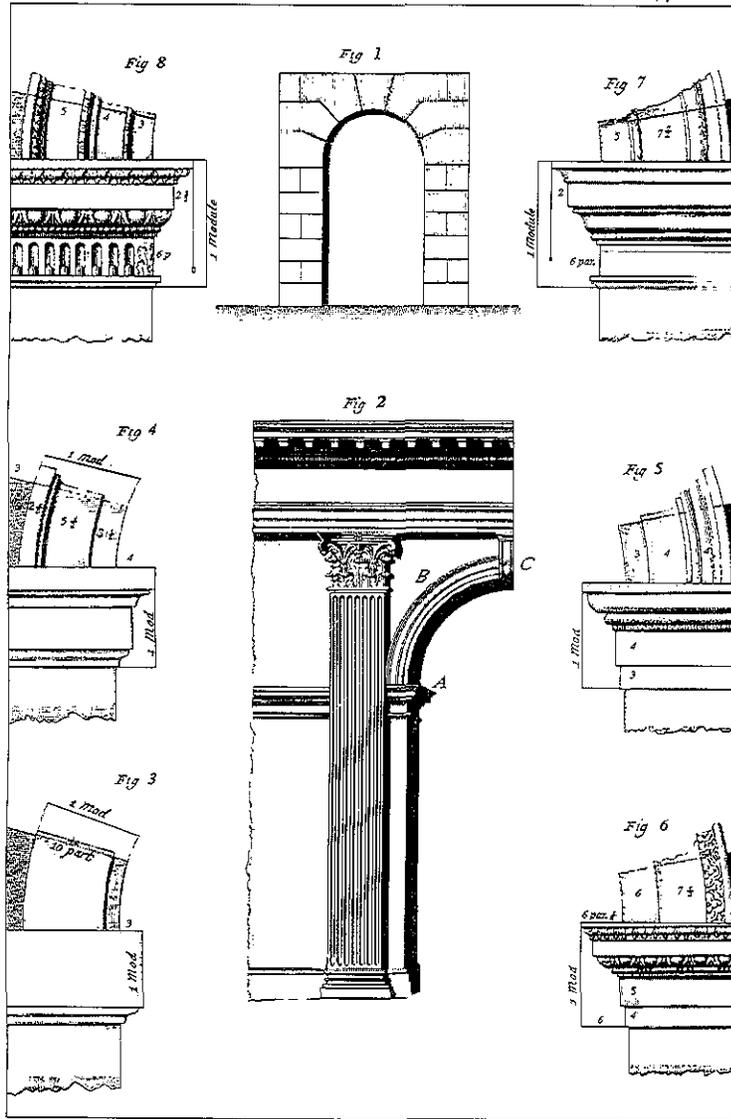
(4) RAPPOPORT, 1979

— Figure 1 —

PROTOTYPE ÉLÉMENTAIRE

Portique

Suppl. 114



Antoine Duran

Architecture

Fig 1 Manière de trouver l'épaisseur qu'il faut donner aux pieds droits des voûtes en plein cintre surhaussées ou subaissées

Fig 2 Arcade, A - imposte, B - archivolt, C - clef

Fig 3,4,5,6,7 & 8 Impostes pour les divers ordres, avec les moulures & autres ornements propres aux impostes & aux archivoltes des arcades, suivant les différents ordres

Fig 3 & 4, pour l'ordre toscan, Fig 5, pour le dorique, Fig 6, pour l'ionique, Fig 7, pour le corinthien, Fig 8, pour le composite

Planche empruntée à l'Encyclopédie Diderot et d'Alembert
ARCHITECTURE (2)

changement radical Accusant les prototypes d'objets traditionnels d'influence conservatrice sur la conception, elle s'oriente vers l'emploi des méthodes et des savoirs scientifiques Les méthodes fondées sur les raisonnements analytiques sont opposées aux savoir-faire mémorisés dans les prototypes

Parmi ces méthodes analytiques la plus connue est celle de la *Synthèse de la Forme* de Ch Alexander (5) L'auteur analyse d'abord le programme architectural pour formuler le problème Ensuite, il le structure de façon hiérarchique, afin de dégager tous les problèmes particuliers Pour les résoudre un par un, il élabore le langage des « *patterns* », qui ne sont plus des prototypes d'objets globaux, mais de petits étalons schématiques qui font correspondre un usage particulier à un espace élémentaire Il lui reste alors à remonter à partir des ces *patterns* la hiérarchie pour synthétiser l'artefact globalement il reste à trouver la forme de synthèse

Les critiques de cette méthode, en relevant l'absence chez Alexander des prototypes globaux, remarquent bien la présence de prototypes élémentaires mais surtout leur incapacité à assurer une synthèse Les prototypes sont accusés à nouveau de tous les maux de l'architecture moderne

Dans sa thèse sur la recherche de la « forme de la synthèse », R Studer tente de dépasser le cadre de la conception ponctuelle, qui caractérise encore fortement l'approche d'Alexander En postulant que l'architecture d'objets locaux se transformait en une architecture de « milieu socio-morphologique », n'ayant plus besoin des prototypes d'objets, il propose de remplacer la conception architecturale par la recherche continue des « liaisons rétroactives » entre cette conception et son objet (6) Le même refus catégorique des prototypes conduit les chercheurs soviétiques à tenter d'élaborer « une méthodologie de conception continue de systèmes socio-morphologiques complexes et dyna-

miques » Cette méthodologie, basée sur le savoir scientifiques, était censée assurer la synthèse par elle-même, mais elle n'est jamais parvenue à la réaliser Car le savoir est une chose et le savoir-faire en est une autre Si les connaissances scientifiques décrivent les contraintes imposées aux futurs objets, le prototype décrivait la manière d'organiser ces connaissances au cours de la conception A la différence d'un modèle de savoir, un prototype est donc un *modèle de savoir-faire* et, en tant que tel, il a deux fonctions différentes L'une permet de concevoir l'objet et l'autre de le construire

Toutes ces méthodes analytiques ont bien préparé le terrain pour la réorganisation de la conception architecturale Maintenant nous pouvons mieux comprendre l'échec des tentatives de formalisation du processus de conception des années 60-70, décrit plus haut Lesdits systèmes de « conception assistée par ordinateur » visaient à *remplacer le prototype par une méthodologie de résolution de problème*, donc à séparer les deux fonctions des prototypes conceptuelle et constructive Toutefois, si ces tentatives ont échoué, elles ont eu le mérite de mettre en avant certains principes de conception sans prototypes dans un système automatisé Ces principes sont les suivants pour résoudre le problème formulé par le programme architectural, l'ordinateur a procédé par une méthode « fonctionnelle » et « normative », ne prenant en compte que les paramètres qu'il sait plus au moins formaliser *finalité et efficacité* De ce fait il ne pouvait jamais dépasser les normes ni reformuler le problème ni modifier la méthode, donc innover tant sur le plan de la démarche que sur celui du résultat

Pour innover l'architecte remet en question les contraintes, voire les normes, il est obligé de dépasser les connaissances pré-existantes exprimées dans le programme S'il innove, c'est parce qu'il se pose des questions sur la validité des prototypes existants Au travers de nouvelles hypo-

(5) ALEXANDER, 1964

(6) STUDER, 1969

thèses il prépare un espace pour la nouveauté. L'ordinateur ne se pose pas de questions, il résout le problème.

Se distinguant de « l'architecture moderne », le mouvement « post-moderne » actuel tend à s'émanciper des prototypes d'une autre façon. Cessant de les utiliser comme langage de production, il va s'en servir comme d'un langage de communication avec l'utilisateur, c'est-à-dire au niveau de la rhétorique symbolique, poétique, mythique, métaphorique, etc. (7) L'invention provient ici de l'utilisation métaphorique des prototypes traditionnels, mais surtout de l'utilisation de schémas génériques venus de tous les domaines de la science et de la culture *par analogie*. Ce niveau métaphorique du langage est encore inaccessible à l'ordinateur (Tabl. 1).

Métaphore et langage formel

Comment fonctionne la conception sans prototypes ?

- Concevoir sans prototypes équivaudrait à
 - construire un certain nombre des modèles mentaux d'une situation par analogie à une autre,
 - simuler, vérifier et affiner ces modèles par rapport aux contraintes du programme,
 - choisir le « meilleur » des points de vue fonctionnel, technique et esthétique.

Les prototypes absents, il ne reste en début du processus de conception qu'un programme architectural exposant différents problèmes à résoudre, ainsi qu'un certain nombre d'hypothèses sur les forces génératrices de l'espace qui viennent de l'expérience du concepteur. Grâce à ces hypothèses, l'architecte transforme le *programme architectural général* en un *programme personnel*, ainsi dix architectes, en réponse au même programme, trouveront dix solutions différentes.

Les hypothèses de départ seront par la suite vérifiées, validées ou rejetées à travers leur mise en forme. Leurs descriptions prennent souvent une forme métaphorique

décrivant une situation encore inexistante par comparaison aux situations connues. Citons par exemple la célèbre métaphore de l'architecture moderne « la machine à habiter » de Le Corbusier ou des métaphores plus contemporaines comme « la nuit électrique » et « les anneaux de Saturne », utilisées par l'architecte A. Sarfati pour décrire les objectifs de son projet de développement de la ville nouvelle de Melun-Sénart. Ainsi, un axe est appelé « l'axe technologique – nuit électrique ». Notons que, plus que la forme, cette métaphore évoque l'ambiance qu'il faut créer. Autre axe circulaire, qui supportera une grande exposition internationale d'agriculture située dans les forêts qui entourent la ville, l'architecte nomme « les anneaux de Saturne ». Il imagine un lieu circulaire composé de densités différentes, tel que le lui suggère l'image du rassemblement des amas de matière dans les anneaux de Saturne (voir *Porada, figure A, dans le cahier central de ce numéro*).

Cet architecte, l'un des pionniers de l'utilisation des images numériques pour la conception des esquisses, affirme que les « *principaux choix et les grandes métaphores* (ce sur quoi on s'appuie pour fonder une esthétique) *tiennent en quelques lignes, et le passage devant l'écran devient possible dès que ces grandes options sont arrêtées* » (8).

Mais la métaphore n'est qu'une fausse image puisqu'elle n'a pas la vertu directe de l'image productrice d'expression. Son ambiguïté n'a aucun équivalent direct ni dans le langage des prototypes, ni dans le langage formel infographique.

Le prototype de « fenêtre » en architecture classique était un modèle de savoir et un modèle d'objet. La « fenêtre » de l'architecte Mario Botta, une sorte de fente dans le mur, ne possède aucun modèle formel. Et le « mur-rideau » reste-t-il encore un mur ou devient-il déjà une fenêtre ?

Nous avons vu que le langage des prototypes était un langage professionnel avec un vocabulaire esthétique et poétique.

(7) *Langage de création et rhétorique de l'image*, 1986.

(8) *Architecture et Informatique*, n° 27.

— Tableau 1 —

SCHÈMES DE PENSÉE, SCHÉMAS PROFESSIONNELS, ANALOGIES

DESCRIPTION VERBALE DE LA MORPHOLOGIE DES CONCEPTS ARCHITECTURAUX				
SCHEME DE PENSEE	NIVEAU DE PERCEPTION	VOUTE	MAISON	VILLE
		APPROCHE COMMUNE SE BASANT SUR LA PERCEPTION		
		<i>DOME COUPOLE DEMI-CYLINDRE</i>	<i>CARREE PYRAMIDALE CUBIQUE CYLINDRIQUE BOITE</i>	<i>CONCENTRIQUE EN LONGUEUR RECTANGULAIRE</i>
SCHEMAS TYPOLOGIQUES ARCHITECTURAUX	NIVEAU DE CONCEPTION	CONCEPTION SE BASANT SUR L'EXISTENCE ET LA CONNAISSANCE DES PROTOTYPES		
		<i>EN EVENTAIL EN BERCEAU D'ARETES D'OGIVES HEMISPHERIQUE EN COUPOLE EN CUL-DE-FOUR</i>	<i>MAISON ROMAINE VILLA PALADIENNE MÂS PROVENÇAL COTTAGE ANGLAIS CHALET SUISSE BARRE TOURS EN TERRASSES</i>	<i>CITADELLE VILLE MEDIEVALE PAYSAGER VILLE CONTINUE RADIALE LINEAIRE CIRCULAIRE ORTHOGONALE</i>
SCHEMAS HORS DES TYPOLOGIES ARCHITECTURALES	NIVEAU DE CREATION	CONCEPTION SE BASANT SUR LES CONNAISSANCES UNIVERSELLES : ANALOGIES		
		<i>"BULLE DE SAVON" "COQUILLE D'OEUF" "CRANE" "COQUE DE BATEAU" "VOUTE CELESTE"</i>	<i>"GRATTE-CIEL" "TRONC D'ARBRE" "CRISTAL" "COQUILLAGE" "LABYRINTHE" "NID" "TOURS DE BABEL" "ARCHE"</i>	<i>"VILLE TENTACULAIRE" "LABYRINTHE" "FOURMILIERE" "BATHYSCAPHE" "ETOILE DE MER" "VILLE CHAMPIGNON" "VILLE SUSPENDUE"</i>

constitué d'objets de convention destinés essentiellement aux besoins de la conception. On peut se demander quel rôle joue encore la dénomination dans la reconnaissance de l'objet architectural en absence des prototypes et comment on peut créer un *langage formel d'objets* sur de telles bases.

La création d'un *module sémantique*, permettant à l'ordinateur d'interpréter des métaphores, semble être problématique. Il est difficile de le créer pour un langage qui n'existe plus. Tous les « modules sémantiques » développés en intelligence artificielle sont tout juste capables de décrire l'objet de conception au niveau superficiel des schèmes de pensée. Ils ne sont pas utilisés pour la création, car la création ne s'exerce pas à ce niveau commun, ni même au niveau des schémas professionnels des prototypes (cf. Tableau 1).

En attendant ces modules sémantiques, la traduction se fait par l'intermédiaire d'un spécialiste qui a *les compétences en modélisation et sait mettre des idées en image* (9).

La même métaphore sera traduite en image de mille façon par les différents « traducteurs/infographistes », suivant leurs compétences, leurs goûts et leur interprétation personnelle. Pour cette raison les métaphores doivent se compléter par quelques données figuratives et images référentes. Leur présence joue un rôle important dans le dialogue entre l'inventeur de l'idée du projet et celui qui le met en forme. Ainsi, au cours de la mise en forme de l'axe « nuit électrique », la référence à l'architecture de Las Vegas a été déterminante pour communiquer au « traducteur » la façon d'organiser l'espace.

La traduction de la métaphore en langage formel ressemble à la traduction d'un poème d'une langue à une autre. L'assurance d'une bonne traduction ne peut venir que de la symbiose totale entre le créateur de la métaphore et le producteur du mo-

dèle. L'architecte a toujours considéré le processus de conception comme le processus de mise en forme de l'idée du projet. Il est naturel qu'il se sente un peu dépossédé de son projet par ce « traducteur », souvent aussi architecte, mais détenant la connaissance du langage de modélisation. Si pour utiliser l'ordinateur sans « traducteur » l'architecte est obligé de concevoir l'espace par le biais du langage, alors il doit changer de métier. Il devrait en effet apprendre à manier les structures langagières aussi habilement qu'il sait manier les images. L'issue semble incertaine, tout comme les tentatives qui visaient à le transformer en scientifique. D'où la nécessité d'un outil infographique plus adapté à l'étape de visualisation des concepts exprimés métaphoriquement. Pour l'instant on ne peut parler que d'un module « d'assistance langagière » qui ne pourra remplacer le traducteur humain que de manière partielle. Ce module devra s'appuyer sur la méthodologie de l'approche « métaphorique » qui ne peut être mise en évidence qu'à la suite d'une recherche spécifique portant sur la conception architecturale par analogie.

Actuellement nous savons que les métaphores, comme les prototypes, ont la capacité de refléter autant l'intuition visuelle que la logique verbale mais, à la différence des prototypes, elles procèdent par la substitution analogique. Empruntées à d'autres domaines que l'architecture, ces substitutions peuvent servir à l'élaboration du concept de différentes manières : comme une simple répétition du modèle spatial mis à l'échelle du projet, ou de façon purement symbolique. Philippe Boudon qualifie cette réduction de métaphorique ou de métonymique : « *ou bien elle transmet un aspect réduit de l'objet qui toutefois reste représenté en son entier, ou bien elle n'en retient qu'une partie, l'objet se trouve alors réduit au sens propre, coupé*. Dans un cas les rapports de conti-

(9) Si les outils de production et de communication ne leur posent pas de problème, rares sont encore les architectes qui osent s'aventurer dans le domaine de la création spatiale sur l'ordinateur. Le problème est que la plupart des outils infographiques, n'étant pas pensés en termes de conception, ne permettent pas l'élaboration de représentations conceptuelles. Et ceux qui le permettent ne sont pas facilement accessibles aux architectes justement en raison de leur orientation langagière, cf. *Image numérique comme instrument d'aide à la création architecturale*, 1992.

guité sont conservés, la réduction est typologique, dans l'autre cas les rapports de contiguïté sont changés, il y a coupure » (10)

Descriptions scientifiques, poétiques et plastiques

Malgré son importance la démarche métaphorique est loin d'être unique ou la plus répandue en création architecturale. L'expérimentation que nous avons menée avec différents architectes de renom au niveau de la création de l'esquisse directement sur l'écran montre bien qu'il y a presque autant de démarches conceptuelles que d'architectes. Pour décrire ces démarches nous avons proposé une typologie conventionnelle qui n'a d'autre valeur que son utilité opérationnelle permettant de les analyser. Ces sont les démarches

- *réglementaire* (recherche de l'efficacité),
- *fonctionnelle* (description de finalité),
- *formelle* (manipulation de références phénoménologiques),
- *plastique* (manipulation gestuelle ou sculpturale),
- *métaphorique* (description analogique poétique ou symbolique), etc

En réalité le concepteur combine de multiples façons ces démarches, *l'approche mixte* est la plus répandue. Ainsi, l'architecte expérimenté peut-il parcourir cette liste sans difficulté dans tous les sens, l'expérience lui donnant une vue globale de l'ensemble, le novice restera plutôt au niveau réglementaire ou fonctionnel.

Cependant pour aborder un nouvel artefact, l'un et l'autre commenceront peut-être par l'analyse des fonctions et des normes décrites en tant que contraintes dans le programme architectural. Le résultat sera un schéma fonctionnel, qui servira à « l'expert » comme point de départ pour définir les principes de synthèse de la forme, tandis que le « novice » n'ira peut-être pas plus loin, faisant de ce schéma l'ossature même de la forme. L'approche

« fonctionnelle » veut que « la forme habille les fonctions comme un gant ». L'ordinateur s'adaptant bien à *l'approche fonctionnelle et normative*, ce principe a été retenu dans tous les programmes « d'optimisation » en « conception assistée par ordinateur » des années 60-70.

A l'opposé, la démarche que nous avons nommée *formelle*, prend très peu en compte les contraintes du programme. L'architecte possède une sorte de répertoire des formes préétablies, émergeant du plus profond de son expérience imaginaire. Ces images mentales ne sont peut-être pas très exactes mais elles se comportent comme des idées fixes. Pour Philippe Boudon, ces « *obsessions figuratives* » constituent un « *stock de modèles qui se forme chez un architecte d'une façon comparable au vocabulaire d'un individu et qui est un stock limité des éléments du lexique général. Il n'a pas d'échelle, il peut être grand ou petit, sans cesser d'être modèle, et il vient s'insérer dans la contiguïté spatiale lors du projet d'architecture grâce à la fonction syntagmatique qu'assure l'échelle en lui fixant sa taille* » (11). Le Corbusier pensait qu'en général l'architecte n'explore dans sa vie professionnelle que deux ou trois formes. Ainsi, dans les projets de l'architecte Mario Botta, la forme cylindrique semble être une sorte de référence figurative persistante. Cette forme est à la base de créations les plus diverses : une chaise (« Latonda »), les multiples villas « rondes », la cathédrale d'Evry. Dans cette démarche, qu'on peut caractériser comme *phénoménologique*, le problème de synthèse de la forme est remplacé par le problème de l'organisation des diverses fonctions à l'intérieur d'une forme a priori.

La démarche plastique privilégie nettement le geste créateur de l'espace et relève au second plan les raisonnements analytiques. Ce ne sont plus les modèles formels, comme dans l'approche précédente, mais les modèles décrivant le savoir-faire gestuel qui permettent ici de

(10) BOUDON, 1975

(11) idem

sculpter ou de dessiner l'esquisse du projet. Le concept spatial est dominé par le concept opérationnel. Au cours de notre recherche expérimentale, nous avons enregistré la volonté de l'architecte D. Drummond de « *composer le plein de l'espace à travers du vide* », ou encore de « *creuser dans le tissu urbain une sorte de moule de la Rotonde de Ledoux* ». Dans une conception sans ordinateur cet architecte privilégie la maquette comme moyen d'expression, tout comme P. Riboulet qui écrit, dans la *Naissance de l'hôpital* : « *Au total, la forme sort des doigts sans que l'on sache vraiment toujours pourquoi* » (12).

Nous avons parlé déjà de l'approche métaphorique dans le chapitre précédent et nous tenons ici à préciser que cette démarche, comme d'ailleurs toutes les autres, n'est jamais pure. Le plus souvent nous sommes en présence de *démarches mixtes*. Si nous passons en revue certains projets de A. Sarfati, nous verrons que la métaphore des « Anneaux de Saturne » s'y répète comme une « obsession figurative », représentant tantôt l'axe circulaire de la ville, tantôt une rampe circulaire traversant un pavillon ou encore l'axe d'un parc. Dans le projet de Melun-Sénart cette métaphore concerne la structure des anneaux, mais dans le projet du pavillon de la France à Séville l'accent est mis sur leur dynamique, qui est reprise par le seul élément architectural en mouvement, la rampe circulaire, menant les visiteurs à travers le pavillon. En outre, dans ce projet, non seulement la métaphore, l'expression imagée, mais l'image même de la réflexion à l'infini des « anneaux de Saturne » dans les deux miroirs parallèles a suggéré à l'architecte le concept spatial du pavillon.

Antérieurement nous avons montré l'importance du « traducteur » pour une démarche métaphorique. Mais étant donné l'imperfection actuelle de l'outil infographique en ce qui concerne la création directe de représentations conceptuelles,

cette assistance est tout autant nécessaire pour les autres démarches. L'analyse de l'assistance qu'apporte « l'architecte-traducteur » à « l'architecte-concepteur » au cours de la création de l'esquisse (13) montre qu'au-delà de l'assistance langagière, il l'assiste également au *niveau gestuel* (traduction de gestes non formalisés en gestes formalisés) et au *niveau formel* (formalisation de « références figuratives »).

Traditionnellement l'architecte a toujours pu choisir librement sa démarche et aussi librement passer d'une démarche à une autre pour aborder les différents aspects des représentations conceptuelles, qu'ils soient fonctionnels, morphologiques, plastiques et poétiques, assurant ainsi leur synthèse en un modèle de l'espace. Il faut qu'un outil infographique soit capable d'offrir cette liberté de choix.

En observant les schémas de Melun-Sénart on peut se demander laquelle des approches, exposées plus haut, est à leur origine (voir *Porada, figure A, dans le cahier central de ce numéro*). Leur beauté est-elle inhérente à la logique fonctionnelle, ou la beauté iconique et la logique fonctionnelle se superposent-elles, en se servant l'une de l'autre ? Cette superposition se fait-elle automatiquement ou suit-elle un cheminement spécifique ? Enfin, peut-on parler d'une logique non purement verbale mais aussi iconique ? Voyons ce qu'expriment ces schémas. En se donnant pour image, ils peuvent exprimer la logique fonctionnelle d'organisation de l'espace. La réflexion sur cette organisation pouvait fort bien débiter par un texte, mais les concepts verbaux n'avaient pas encore de signification spatiale précise, ils contenaient des potentialités spatiales multiples. C'est au moment de la mise en forme de ces schémas que débute la mise en forme du modèle spatial particulier. Ainsi un schéma, tout en contenant encore des mots, commence déjà à devenir un modèle iconique et non plus seulement verbal. Nous avons vu que la démarche inverse est

(12) RIBOULET, 1989

(13) *Image de synthèse et imaginaire du monde* 1987

aussi possible une image peut suggérer le schéma de l'organisation de l'espace

Ses champs d'intervention étant multiples, l'architecture s'appuie sur plusieurs logiques sociale, spatiale, physique et psychique, d'où la nécessité et l'importance de *l'approche mixte*. L'aspect psychologique n'est pas le moindre c'est la perception. La psychologie de la perception est liée directement aux *dimensions plastiques et poétiques* d'un espace architectural. Il est tellement plus facile d'assurer le bon fonctionnement du bâti et de satisfaire aux règlements que d'émouvoir, voire de transformer l'homme par l'architecture. Les dimensions plastiques et poétiques de l'architecture ne résultent pas automatiquement d'une organisation fonctionnellement parfaite, car le social et le spatial ne sont pas liés de façon linéaire. Néanmoins, le principe de causalité peut s'appliquer au niveau de certains seuils de l'ampleur de l'espace, quoique très approximativement. En effet ces seuils ne sont pas universels, ce sont des phénomènes culturels, locaux et dans un certaine mesure individuels. L'instrument professionnel conçu pour les étudier est l'échelle architecturale. Mais cet instrument ne prend pas en compte les « dimensions cachées » de l'être, étudiées en psychologie. En dehors de ces seuils habitent le flou artistique, l'incertitude, le hasard *et la création règne*

La créativité et toutes ces logiques ont des liens complexes et non linéaires. Nous avons vu que la logique pure, en s'appuyant sur les connaissances objectives et les méthodes analytiques, n'a pas permis de produire une œuvre originale en « création assistée par ordinateur » décrite plus haut. En fin de compte, la réussite d'une œuvre virtuelle, créée au sein d'un système informatique, ne découle ni de la logique spatiale, ni de la logique picturale, ni de la logique verbale du texte formel qui le décrit. Toutes ces logiques différentes confondues, le concepteur tente de se ménager une petite place pour créer ce lieu poétique d'ambiguïté qui va les défier toutes. L'art de la création de l'espace à l'aide de l'outil infographique ne peut se réduire à l'apprentissage et à l'accumula-

tion mécanique de ces logiques diverses. Il tend à introduire un processus conceptuel dans lequel la pensée logique se mêle à la pensée poétique et plastique, permettant de dépasser la première et de résoudre les conflits entre concepts opposés.

Mais comment un outil technologique peut-il introduire les préoccupations culturelles et esthétiques du créateur de l'espace ?

Voir l'idée

Dans la *Naissance d'un hôpital*, Pierre Riboulet écrit « *L'image qui s'est mentalement formée le premier jour est toujours là, elle bouge, s'étend, se ramifie, prolifère ou se rétracte, mais c'est elle encore, comme le moteur, la force qui génère et sur laquelle viennent s'appliquer l'analyse, l'intelligence, la sensibilité* »

Ainsi la création d'un espace architectural est-elle souvent précédée par sa représentation en *image mentale*, même si elle n'est qu'une image de départ. Imprécise et sommaire, elle va subir toutes les interférences de la dialectique de la pensée conceptuelle. Instable et à peine saisissable, celle-ci doit s'extérioriser le plus tôt possible dans un processus créatif en se matérialisant dans un schéma, une esquisse, une maquette ou une image, l'image mentale devient le repère principal de la création. On ne peut pas douter de son *rôle heuristique* pour la création spatiale.

Comment l'infographie peut-elle aider à extérioriser cette image mentale et comment peut-elle la représenter de la meilleure façon, sans rien perdre de sa vertu *heuristique* ? C'est une question essentielle que doit se poser le concepteur d'un outil informatique d'aide à la création architecturale.

En travaillant avec différents architectes au niveau de projets de concours, nous avons toujours essayé de visualiser cette image mentale sur l'écran le plus tôt possible, dès le début du processus de conception.

Dans notre recherche *Image numérique comme instrument d'aide à la création ar-*

chitecturale (14), nous avons enregistré la dialectique de développement du concept spatial à partir d'une image mentale référentielle et un *concept opérationnel* que nous avons évoqué déjà pour illustrer la démarche plastique. Précisons ici que l'expérimentation portait sur un projet de réhabilitation d'un espace urbain. Pour établir les hypothèses de départ l'architecte D. Drummond s'est inspiré de la Rotonde de Ledoux située à proximité. Cette référence au prototype architectural lui a servi pour « restituer l'aspect parisien » de l'îlot urbain.

Le désir qu'il exprime de « creuser dans le tissu urbain une sorte de moule de la Rotonde » reste longtemps un *concept opérationnel* qui décrit le procédé de façonnage de l'espace. L'architecte nous a décrit verbalement, et nous avons élaboré, enregistré et visualisé sur l'écran, toutes les représentations intermédiaires lui servant pour aboutir à un *concept spatial*. En fait, l'architecte s'est très rapidement rendu compte que notre outil infographique est parfaitement capable de les visualiser toutes. Pourtant jamais ne lui est venue l'idée de nous demander de restituer l'hypothèse de départ car il était absolument sûr de la maîtriser entièrement dans son esprit. N'étant pas visualisée, « la moule de la Rotonde » s'est transformée successivement en « tambour de machine à laver », en un « creuset circulaire », en un « bassin d'eau » pour devenir enfin un « point symbolique », sorte d'épicentre similaire au pavé de la place de Notre-Dame, qui focalise des lignes imaginaires rejoignant toutes les cathédrales de la France. Sans doute, chacune de ces représentations intermédiaires pouvait conduire à un projet bien différent mais plausible. Après avoir observé cet éloignement progressif de l'image mentale et toutes les hésitations de ce « parcours initiatique », nous avons décidé de construire et d'incruster la maquette virtuelle de la Rotonde dans son projet. Non pour imposer à l'architecte son image de départ, mais par souci de voir l'effet de sa visualisation. La

confrontation entre la représentation mentale de l'espace et son image matérialisée sur l'écran à l'échelle du projet a permis de mettre en évidence le décalage énorme entre les deux. Il est apparu que, même si elle s'appuie sur un référent architectural précis, l'image mentale reste abstraite tant que sa représentation n'est pas extériorisée. Elle est hors d'échelle, elle n'a pas la même structuration que l'espace visualisé, sa matière est indéfinie. Le choc visuel a donné enfin naissance au concept spatial « j'habite la Rotonde ». Le « vide » de la place se creusait par le « plein » de la Rotonde et ses façades se transformaient en façades des bâtiments l'entourant.

Pour exprimer l'image mentale de départ cet architecte procède habituellement par l'élaboration d'une maquette en terre glaise. Les autres l'expriment en dessinant les schémas ou les croquis, mais ils reconnaissent tous volontiers qu'en ce qui concerne la créativité pure, l'image de synthèse est un formidable stimulant. Pendant nos expériences les débats suscités par l'ordinateur commencent et se terminent généralement par la même interrogation : va-t-il remplacer définitivement les outils traditionnels de visualisation des images mentales tels que crayon, pinceau ou tout simplement le geste façonnant la matière ? Ce qu'en fait, soulignent les architectes, c'est surtout *le rôle heuristique d'un geste expérimenté*, d'une pulsion apparemment « spontanée », mais qui comporte toute l'intelligence d'une main qui « raisonne » avant le cerveau. Cette pulsion interne fait « sortir la forme des doigts » au cours de la construction d'une maquette ou dessin d'un croquis.

L'image de synthèse se réalise de façon bien différente.

L'obligation de passer par le langage pour construire les modèles infographiques crée une distinction de l'architecte par rapport à la matérialité de son œuvre. Pourtant chacun sait que l'image ne peut être réduite au message. La pensée visuelle n'est pas une pensée verbale, elle n'est pas une perception passive non plus. La

(14) *Image numérique comme instrument d'aide à la création*, 1992

construction d'une image est un acte intellectuel, sensuel qui peut influencer le modèle même. Si dans le domaine scientifique l'image ne représente que le côté apparent du modèle, en création artistique et architecturale elle devient le moyen principal de sa production. La recherche de composition, la recherche picturale, plastique et symbolique se font à travers l'image. Agir sur le modèle c'est traduire une pulsion picturale ou gestuelle en un sens spatial. Mais les algorithmes actuellement utilisés en infographie modélisent l'acte créateur dans son aspect purement fonctionnel, indépendamment des préoccupations culturelles et esthétiques du créateur de l'espace. Il s'agit là, pour les domaines artistique et architectural, d'un véritable problème qui ne sera probablement pas résolu tant que l'outil infographique ne permettra pas de reconstituer le geste créatif. Il faut espérer que les nouvelles techniques de *réalité virtuelle* vont se déployer au niveau de la création spatiale. Les nouvelles interfaces, permettant de sculpter l'espace virtuel par le geste, doivent favoriser fortement l'approche que nous avons appelée « plastique ».

La réalité virtuelle reste encore une utopie pour la conception et voilà que s'en dessine déjà une autre. *L'idéographie dynamique* de P. Levy (15) propose d'élaborer une interface nouvelle, ne se basant plus exclusivement sur l'écriture formelle. En essayant de trouver un certain équilibre entre pensée verbale et pensée visuelle, il avance l'hypothèse de possibilité de création d'un *langage idéographique* ne se fondant plus sur des mots, mais sur des images.

Cet interface hypothétique contient deux modules : « générateur d'idéogrammes » et « metteur en scène ». Chaque idéogramme est une image figurative ne représentant sur écran qu'une vue sur l'objet informatique autonome. *La collection de ces objets*, qui sont des représentations spécifiques avec toutes leurs propriétés et règles régissant leurs interactions, forme un *modèle*. Les « idéogrammes »

permettent d'explorer ce modèle de façon visuelle et dynamique.

Ce projet qui reste encore au niveau de proposition est difficile à analyser en détail.

Du point de vue technologique *l'idéographie dynamique* pousse plus loin l'idée d'interface graphique, en la rendant plus accessible.

Du point de vue méthodologique les idéogrammes (si nous essayons d'imaginer leur application à la conception architecturale) nous font penser aux *patterns* d'Alexander. Les deux sont, avant tout, les instruments de communication. Les deux ont des termes qui se construisent de manière collective mais arbitraire.

Comme les *patterns* les idéogrammes peuvent représenter les étalons élémentaires schématiques de l'usage de l'espace, mais ils vont offrir au concepteur la possibilité d'agir sur eux. Ces sont les *patterns en action*, préalablement programmés et donc maniables, qui pourront répondre de façon visuelle aux actions du concepteur. Imaginons l'idéogramme d'une voûte changeant son état en fonction des forces appliquées par le concepteur sur sa clef. Ce maniement visuel doit activer des raisonnements spontanés « mettant en jeu la simulation de modèles mentaux, souvent imagés, plutôt que des calculs (logiques) ».

De même que *le langage de patterns*, *l'idéographie dynamique* ne semble pas capable, par elle-même, d'assumer une synthèse, mais en proposant la visualisation des champs de forces de tous ces éléments à synthétiser, elle va aider probablement les raisonnements spontanés sur cette synthèse.

Les outils multimodaux pour concevoir par analogie

Ce n'est pas un hasard que pour décrire le processus de raisonnement P. Levy formule l'hypothèse suivante :

« Raisonner sur une situation équivaudrait, premièrement, à rappeler ou construire un certain nombre des modèles

(15) LEVY, 1991

mentaux de cette situation, deuxièmement, à "faire tourner" ou simuler ces modèles afin d'observer ce qu'ils deviennent dans d'autres circonstances et de vérifier si ils cadrent avec les données de l'expérience, troisièmement, à sélectionner le "meilleur" modèle »

Son hypothèse de raisonnement nous rappelle par certains aspects notre définition de la conception architecturale. Pourtant, la différence n'est pas mince. Ne pouvant pas « rappeler » des modèles issus de la culture professionnelle en l'absence de prototypes, l'architecte doit les construire par analogie avec des modèles qu'il emprunte ailleurs, dans la culture générale.

Grâce à « l'encyclopédie idéographique », il pourra probablement s'inspirer demain de représentations de schémas génériques venues de tous les domaines de la connaissance.

Nous savons bien qu'en permettant de visualiser les connaissances diverses, équations mathématiques et phénomènes physiques, l'ordinateur peut constituer une nouvelle source d'inspiration, donc d'innovation (voir Porada, figure BV, cahier central de ce numéro). Il va jouer probablement dans la conception artistique de l'espace le même rôle qu'a joué le télescope dans la conception scientifique de l'univers. En rendant sensible ces représentations, l'ordinateur-« formascope » stimule la pensée visuelle, cette méditation active sur les surfaces et les formes qui seraient autrement inaccessibles aux architectes (16).

On peut bien imaginer les *idéogrammes* visualisant les éléments de solution pour chaque contrainte du programme, mais aussi des références figuratives personnelles. Ainsi, en personnalisant son outil infographique, chaque architecte pourra-t-il peut-être créer un répertoire personnel d'idéogrammes de son savoir-faire.

Mais les idéogrammes ne peuvent que

suggérer l'idée, cette image floue de départ qui n'a pas la consistance d'un concept spatial. Nous avons vu que pour devenir un modèle spatial, elle doit prendre corps au travers d'autres représentations servant à étudier tous les aspects du futur espace architectural : fonctionnels, constructifs, plastiques, etc. *Le concours simultané* de ces différentes représentations sous la surveillance vigilante de la pensée visuelle produit la synthèse du modèle conceptuel spatial.

Pour se substituer même partiellement aux modèles conceptuels traditionnels, le modèle conceptuel infographique doit être conçu comme une représentation opérationnelle changeante, ouverte, capable de capter en soi le maximum de descriptions différentes, même ambiguës, permettant un « aller et retour » entre les descriptions les plus abstraites et les représentations les plus concrètes, d'évoluer dans l'espace et dans le temps de la conception.

Il semble que le niveau d'idéographie dynamique, correspondant aux objets informatiques autonomes, peut être adapté aux représentations conceptuelles qui décrivent les différents aspects du modèle, surtout que chez P. Levy leur synthèse n'est pas soumise à une méthode scientifique, mais se fait de manière purement visuelle.

La forme architecturale, prise indépendamment de son contenu, serait de la sculpture pure et sortirait du champ de notre propos. Si dans les années 60-70 les programmes informatiques pour la conception architecturale se basaient essentiellement sur l'aspect analytique, les programmes actuels de l'infographie, orientés vers la communication, ont trop délaissé cet aspect. Curieusement, dans la plupart des cas que nous avons étudiés, l'expérience et le savoir-faire professionnels suffisaient largement aux concepteurs-experts pour dégrossir les problèmes sans faire ap-

(16) Faut-il avoir peur de « l'architecture de l'écran », imaginaire et visionnaire, de cette prolifération de formes nouvelles, aberrantes du point de vue de l'architecture « raisonnable » ? Il est vrai que l'infographie peut devenir une entreprise permettant de modeler la matière vertigineuse dont les composants se nourrissent des rêves les plus ardens. La rêverie a toujours dépassé la géométrie des artefacts en tendant vers la géométrie complexe des objets naturels que seul l'ordinateur sera capable de visualiser pour inspirer la création d'espaces plus naturels et plus humains que ces « boîtes » dans lesquelles nous sommes « stockés » et qui reflètent parfaitement l'esprit « carré » de l'architecture qui nous entoure.

pel aux outils informatiques d'analyse et de vérification. La visualisation des concepts a été pour eux plus importante que leur vérification selon les critères du programme ou des normes. Mais pour un architecte moins expérimenté cela ne sera probablement pas le cas.

Pour que la simulation graphique devienne une véritable simulation spatiale, les aspects analytiques doivent être à nouveau pris en compte. Cependant l'on ne peut pas simplement ajouter un module analytique. Le concours concomitant des différents aspects de la conception ne permet pas de les séparer ni dans le temps ni dans l'espace de conception. Avant de créer un module « d'assistance analytique » il faut bien étudier comment il est lié aux autres aspects conceptuels, quel rôle il joue exactement et à quel moment de la conception il intervient.

Il faudra aussi étudier et reconstituer tous les outils traditionnels d'auto-référence et d'auto-vérification exprimés dans les représentations conceptuelles internes.

En réalité nous ne savons rien des moyens par lesquels la pensée visuelle arrive à produire la synthèse. C'est pourquoi on ne peut croire que le véritable outil d'aide à la conception architecturale soit pour demain.

Si la pensée visuelle n'est pas une notion nouvelle pour la conception architecturale, cette notion n'a jamais été ni claire-

ment formulée ni formalisée pour les besoins de l'informatisation. C'est l'expérience négative antérieure de l'informatisation de la conception qui nous a obligée à commencer de réfléchir sur son rôle et son importance pour la création de l'espace.

Aujourd'hui nous pouvons avancer quelques premières hypothèses.

La création spatiale directe sur l'écran de l'ordinateur n'est possible que dans un système infographique permettant de

- procéder par analogie et par approximation,

- construire et visualiser toutes les représentations opérationnelles internes sans aide du traducteur,

- passer d'une représentation à l'autre par l'intermédiaire du modèle commun de base,

- agir sur ce modèle à travers l'image et le geste.

Pour rivaliser avec les outils traditionnels, l'infographie doit posséder une vertu heuristique qui n'est pas moindre que la leur. Mais si en plus l'on souhaite que le concepteur sacrifie son geste créatif à l'outil de modélisation, il faut que l'infographie le dépasse largement dans ce domaine. Un certain équilibre entre pensée verbale et pensée visuelle s'impose donc impérativement, équilibre dans lequel leur fécondation mutuelle unira l'intelligibilité du modèle et sa sensibilité.

BIBLIOGRAPHIE

ALEXANDER C , *Notes on the Synthesis of Form*, Harvard, 1964

ARCHITECTURE, Encyclopédie Diderot et d'Alembert, Recueil de planches sur les sciences, les arts libéraux et les arts mécaniques, avec leur explication
Planche n° 4, Im Nouvelle Lescaret, Paris

Architecture & Informatique, concevoir/communiquer, n° 27, 1987 (propos des architectes)

BOUDON P , *Architecture et architecturologie*, AREA, 1975

Image de synthèse et imaginaire du monde, cahier n° 6, Centre du recherches sociologiques, Université de Toulouse, 1987

LEBAHAR J -C , *Le dessin d'architecture*, Ed Parenthèses, 1983

LEVY P , *L'idéographie dynamique, vers une imagination artificielle?*, éd La Découverte, Paris, 1991

SIMON H A , *La science des systèmes, science de l'artificiel*, EPI, 1984

STUDER R « The Dynamics of Behavioral-Contingent Physical System », in *Design Methods in Architecture*, London, 1969

PORADA S , « Du schéma conceptuel à la maquette infographique », in *Revue de Bibliologie, Élaboration/représentation des connaissances*, n° 32, 1990

PORADA S , Porada M , « Numerical Image, Mental Image, and the Modern Architecture Triad », in *Design & décision support systems in architecture*, Eindhoven, 1992

PORADA S , « Dialogue avec la Muse », in *Revue de Bibliologie, Schémas et schématisation*, n° 35, 1991

PORADA S , « L'architecture de l'écran », 3^e Conférence internationale, in *La ville interactive*, Milan, Italie, 1991

PORADA S , *Équations apprivoisées*, International Symposium Creativity and Cognition, Loughborough University, England, 1993

RAPPOPORT A , « La conception sans prototypes », in *Conception assistée en URSS, notes méthodologiques en architecture et en urbanisme*, n° 8, E N S B A , 1979

RIBOULET P , *Naissance d'un hôpital*, Plon, 1989

VIRILIO P , *L'espace critique*, Christian Bourgois Éditeur, 1984

Langage de création et rhétorique de l'image de synthèse animée, recherche, Ministère de la Culture, Mission de la Recherche, ZEITOUN J , PORADA S , ARNOLD M , BRET M , LEBRUN C , LOBSTEIN D , ROBIN C , 1986

Image numérique comme instrument d'aide à la création architecturale, Recherche expérimentale plan construction et architecture, 1992 PORADA S , PORADA M , PELTIER B