

substance télématique



substance

télématique

information et matérialité
architecturale

Sommaire

avant-propos		page 006
introduction		page 008
1	généalogie matériologique	page 010
1₁	architecture « capture écran » quant la matière retrace l'histoire	011
	matières premières	011
	fonctions significatrices de la matière	032
1₂	des grottes de Lascaux aux « big-data » les métamorphoses de l'information	040
	histoire des récits	040
	une société informée	045
1₃	de la découverte de l'électricité au monde numérique nouvelles matérialités architecturales	049
	de l'ambre à l'ordinateur	049
2	nouvelles matérialités, nouvelles expériences	page 066
2₁	la matérialité numérique ville intelligente, électronique, robotique	067
	des territoires plus intelligents	067
	des lieux plus intelligents	068
	de nouveaux outils de conception	070
2₂	la « médiatecture » l'information comme matière première	074
	modes de mise en scène	075
	la façade-média composante de la culture urbaine	075
	visualiser et voir	076
	changement de paradigmes	077
	vers une culture urbaine médiatique	078
	la matière lumineuse pour modeler de nouveaux environnements	079
	risques programmés	081
2₃	matières vivantes nouvelle existence	085
	au-delà de l'architecture verte	085
	architectures et processus naturels	086
	morphogenèse et complexité	087
	simuler le vivant - croissance et dégénérescence	088

3	nouvelle conception matériologique	page 091
3₁	matériaux ornementaux substance « décora(c)tive »	092
	la renaissance ornementale	092
	textures, motifs et topologie la nouvelle matérialité ornementale	094
	réinventer la signification de l'ornement	096
	le décor et la communication	098
	la nécessité d'un nouvel ornement	099
	l'identification formelle	100
3₂	prémisses des nouvelles matérialités	104
3₃	les nouvelles substances matériologiques	110
	tissage et textile tectonique	110
	capture de l'éphémère	112
	matérialisation de la nanotechnologie	116
	le vivant	117
	animation, mouvement, dynamique et flux	119
	conclusion	page 121
	bibliographie	page 124
	sites internet	page 127

avant-propos

Cette étude vient en continuité d'une réflexion engagée « in vitro » lors de mes études en Architecture et poursuivies ensuite « in vivo » dans les expériences concrètes de conception architecturales qui m'ont été confié ou auxquelles j'ai pu participer.

Elle constitue « recueil » d'ensemble de pensées, de remarques, faits et d'illustrations sur le questionnement de la relation entre l'architecture, la matière et l'information. Elle questionne l'évolution sur la problématique « matière comme média » dans des dispositifs architecturaux.

L'évolution des réglementations environnementales et les changements dans la mode de distribution et de gestion de l'énergie entraînent des mutations esthétiques et fonctionnelles qui sont en train de modifier significativement la façon de concevoir l'architecture.

Ce questionnement a été conduit par ma sensibilité aux nouveaux outils numériques mis à disposition pour l'architecte, comme les logiciels de conception 3D, « l'algorithmique graphique », le script et l'impression 3D notamment.

Une participation en 2014 à l'ENSCI au workshop « matière programmable » m'avait sensibilisé à de nouvelles matérialités disponible ou envisageable dans le contexte de la conception architecturale. Je souhaite donc poursuivre cette réflexion qui me semble au cœur des préoccupations et des besoins issus des changements de « paradigme » s'opérant sur la « société de l'information ».

introduction

Cet écrit traite essentiellement de l'information et de la matière. La matière, qu'elle soit organique ou inorganique, a la forme des réseaux de communication.

La nature même communique sous forme de réseaux. Les humains sont des organismes qui se mettent en rapport les uns avec les autres grâce à des réseaux. Il en est de même pour les architectures. Il semble qu'à l'instar des êtres humains, ou des ordinateurs, les « entités » architecturales, peuvent être considérées comme des réseaux complexes de matières, d'énergie et d'information.

Inscrits dans un continuum historique de progrès, les matières et matériaux architecturaux peuvent être considérés comme autant de marqueurs d'une époque qui nous délivre de l'information. Tout au long de l'histoire de l'humanité les exemples sont légion et parlent d'eux-mêmes. Durant l'âge de la pierre, les humains créèrent les premiers outils en silex, auparavant ils utilisaient quelques instruments en bois et en os et décida de peindre les murs de sa caverne pour pouvoir transmettre sa mémoire. En l'aidant à transmettre son message, la matière donne « sens » à la forme architecturale.

L'histoire scientifique du 20^{ème} siècle apporte la découverte progressive du fait, et de son étendue, que les systèmes qui structurent notre monde, qu'ils soient naturels ou créés de la main de l'homme, réels ou virtuels, ne sont rien moins que des organisations matérielles résilientes et intelligentes.

Il semble important de pouvoir constater comment s'est engagé les recherches de possibles de redéploiement des nouvelles découvertes scientifiques et techniques de la matière dans la conception architecturale et d'observer les prospections de possibilités formelles et matérielles dans le contexte de l'âge de l'information.

L'émergence et la diffusion massive et à grande échelle des technologies numériques bouleversent l'organisation de nos sociétés, les modèles industriels, les chaînes de valeur et les usages. La généralisation des réseaux et la place d'Internet dans nos vies quotidiennes et l'évolution des performances technologiques offrent un terrain d'action passionnant aux concepteurs contemporains.

Pouvoir explorer les possibilités offertes par la réalité virtuelle, la réalité augmentée et la réalité mixte pour la conception de produits et de services innovants.

Pouvoir explorer les problématiques posées par la production exponentielle des données et leur exploitation, de la représentation graphique à la conception de services innovants basés sur les données, l'information et la communication.

Explorer les mutations du cadre bâti avec, au cœur de l'aménagement, l'usager. Cette exploration nécessite de prendre en compte la notion d'accessibilité et de co-conception pour la conception d'espaces, de produits et de services durables et innovants, dans tous les domaines d'application. Il est basé sur une approche participative des usagés, dans une logique de conception universelle « Design for all ».

Pour aboutir sur l'hybridation entre les objets, les environnements et les systèmes d'information qui découle de cette volonté nous il est nécessaire de s'appuyer sur une

transdisciplinarité qui est, par essence, la source inépuisable de connaissance et de savoir-faire.

On oppose souvent l'art et la science. Pourtant, il ne semble pas avoir d'opposition entre ces deux domaines car, dans les deux domaines, des « chercheurs » peuvent y trouver un sens grâce à leur observation du monde. Les scientifiques s'appuient sur l'empilement de preuves et de faits successifs pour progresser dans le domaine des sciences fondamentales. Quant à eux, les artistes recherchent, dans leur sensibilité, à exprimer leur propre perception ou interprétation du monde.

Aujourd'hui, la prise en compte du développement durable, du recyclage des matériaux, de la notion d'amélioration de l'humanité, vont nous apporter et nous inspirer de nouvelles formes et de nouveaux aménagements dans un souci de qualité et de bien-être. Il est donc obligatoire de trouver de nouveaux matériaux, à sélectionner parmi les solutions équitables et écologiquement viables pour répondre aux demandes contemporaines de l'homme et aux exigences de notre Terre. Cette double attente sera satisfaite grâce à un regain d'intérêt pour les matières naturelles, leur exploitation régulée, et des matériaux très innovants n'ayant qu'un faible impact environnemental.

Dans ces nouvelles fonctions ainsi définies, en relation avec « la ville intelligente », le « Big-Data » et le principe de « Smart Grid » développé dans le cadre de la définition des nouveaux modes de distribution énergétique, il cherchera à correspondre aux nouveaux paradigmes socio-culturels. Il envisagera une nouvelle façon d'appréhender la gestion des espaces habités et de l'environnement tout en cherchant à offrir une « standardisation personnalisable » en fonction des usages potentiels et des modes de vies de chacun.

Il est important de dégager également dans cette réflexion le lien fort entre l'aspect formel et esthétique en relation avec les usages prédéfinis mais aussi sur sa capacité à pouvoir s'adapter à de nouvelles fonctions en cours d'évolution ou encore non-établies.

Jamais les matières et les matériaux n'ont pris autant d'importance dans les projets d'architecture, ils créent des atmosphères, agissent sur nos cinq sens, interagissent avec notre environnement et nous offrent une qualité d'environnement en créant de nouvelles ambiances, et du sens. Les innovations apportées aux matériaux conjuguées aux « process » permettent la création de produits ou d'architecture à fortes valeurs ajoutées.

En architecture et en urbanisme, la gestion de la transmission de l'information et de l'énergie doit être prise en compte au même titre que les problématiques « classiques » liées aux capacités thermiques, phoniques, de résistance ou d'étanchéité d'une construction.

Le facteur de transmission d'information par un matériau deviendrait donc un des critères sélectifs et normatifs des matériaux. Cette nouvelle disposition aura peut-être pour effet d'accompagner les nouvelles formes esthétiques des architectures et des villes de demain.

Sur cette base, il est donc permis d'imaginer qu'il sera bientôt possible de mettre au point de nouveaux dispositifs et/ou matériaux constructifs permettant aux nouvelles formes architecturales et urbaines d'être rendues désormais « actives » dans la gestion, le stockage et la transmission d'information.



1

**généalogie
maté-
riologique**

1 quand la matière donne sens

Comme nous le montre Richard Weston dans son livre « forme et matériaux dans l'architecture », il paraît évident que, l'architecture, ses formes et ce qu'elle est capable de nous révéler de la culture, de l'avancement technologique et scientifique ou des mœurs sociaux d'une civilisation est étroitement lié aux types de matériaux qu'elle utilise. Ainsi, il paraît important de revenir aux sources de l'histoire de la construction pour examiner les principales ressources « matériologiques », leurs origines et leurs significations.

matières premières

Selon les termes de l'historien Banister Fletcher « L'architecture, en dépit de toutes ses phases et évolutions complexes, doit avoir eu une simple origine : les premiers efforts déployés par l'humanité pour créer des protections contre la rudesse des climats, les bêtes sauvages, et l'ennemi humain ». Cette origine, réelle ou mythique, continue à nous fasciner, et rares sont les constructions aussi souvent représentées que cette demeure polymorphe : la « hutte primitive ». L'ouvrage le plus ancien sur le sujet est un traité sur l'architecture écrit au 1^{er} siècle avant J-C par un Romain dont le nom est étroitement associé à un livre ; il s'agit de Marcus Vitruvius Pollio. Selon lui, les premiers abris étaient construits à l'aide de pieux fourchus entre lesquels on disposait de petites branches. Le mur était terminé avec de la boue ; cette forme précoce de construction composite, qu'on appelle aujourd'hui généralement le clayonnage enduit de torchis, était très fréquemment utilisée dans les sociétés préindustrielles et existe encore de nos jours. Comme autre technique, il décrit également des murs « en mottes de terre enchâssées dans du bois et couverts de roseaux et de feuilles afin de protéger l'intérieur contre la pluie et la chaleur », que l'on peut encore retrouver sous des formes plus contemporaines.

Comme le grand théoricien français Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc, pour qui la « Première Construction » aurait été réalisée en fixant les uns aux autres de jeunes arbres correctement espacés, Vitruve étaye ses arguments en examinant de vraies huttes en Crimée, en Turquie



et près de Marseille. Un type de construction faisant appel à des principes similaires à ceux illustrés par Viollet-le-Duc a été mis au jour dans des circonstances tragiques au cours de ces dernières années. Les vastes marais du « chatt al-Arab », au confluent du Tigre et de l'Euphrate, ont longtemps été la terre natale de différentes tribus. Le roseau local, le « qasab », atteint six mètres de haut et est utilisé par les habitants pour construire d'extraordinaires demeures, dont la plus grande, celle réservée aux invités, peut atteindre trente-six mètres de long. Par suite de la guerre entre l'Iran et l'Irak, et des efforts déployés pour assécher les marais, cette façon de vivre unique en son genre va peut-être disparaître à jamais.

Contrairement à Vitruve et à Viollet-le-Duc, l'« architecte » de la plus célèbre de toutes les huttes primitives, l'abbé Laugier, opta pour une approche purement théorique. Sa célèbre construction doit une grande partie de sa gloire à une gravure mémorable, seulement publiée lors de la seconde édition de son essai sur l'architecture. On y voit une incarnation féminine de l'Architecture attirant l'attention d'un enfant sur quatre arbres attachés les uns aux autres pour soutenir une structure triangulaire réalisée en branches et qui, curieusement, à la forme d'un toit. La gravure s'apparente davantage à une tentative de déconstruction du temple grec qu'à une reconstitution crédible de l'abri primitif.



Ce que révèlent ces conjectures sur les premières formes d'édifices, c'est à quel point l'activité de construction fut traditionnelle et conservatrice, en particulier si on la compare à plusieurs autres aspects du comportement humain. Les moyens de production ont changé, de nouveaux matériaux tels que l'acier et le béton armé sont apparus, et d'autres plus anciens, comme le verre, ont été produits dans des dimensions et des quantités jusqu'alors inimaginables. Mais nombre des matériaux fondamentaux du bâtiment, le bois, la terre cuite et compressée, la pierre et les métaux, étaient déjà utilisés par les civilisations anciennes, et souvent à une échelle impressionnante. D'autre part, lorsque de nouveaux matériaux ont été introduits, ils ont en général été utilisés pour faire progresser des modes de construction familiers.

Selon les traités sur les origines de l'architecture, aucun des matériaux de construction présentés ne subissait un quelconque traitement. Trouvés dans la nature, les arbrisseaux, roseaux ou pierres des champs, par exemple, sont diversement réunis et empilés, mais ne sont pas ouvrés. Bien que plusieurs observateurs modernes considèrent les maisons en rondins comme le type de bâtiment en bois le plus primitif, celles-ci sont principalement confinées dans les forêts de conifères des zones tempérées de l'hémisphère Nord, où foisonnent les arbres bien droits, et ont probablement été précédées par des formes simples de construction à base de pieux.

et de poutres. La stabilité de l'ensemble était obtenue en enfonçant les pieux en bois dans des trous, au risque, cependant, de voir le bois pourrir au niveau du sol. Malgré cet inconvénient majeur, les granges en bois continuèrent, en Allemagne, à être construites de cette façon relativement rudimentaire jusqu'au 17^{ème} siècle. Il en est de même pour les « minka », maisons rurales japonaises, qui persistèrent, avec leurs pieux traditionnels, pendant plus de cent années supplémentaires.



le bois

L'histoire de l'architecture fournit peu d'exemples aussi révélateurs de la façon dont la logique peut conduire à des types de construction similaires que la comparaison des entrepôts européens à toit recouvert de chaume et à base de pieux et de poutres, tels que ceux de l'île suédoise de Gotland, et du temple d'Ise au Japon. Ce dernier reposait sur l'entrepôt, ou « kura », fruit de la culture

« Yayoi » qui domina le Japon pendant les âges du bronze et du fer. D'un point de vue esthétique, le temple d'Ise est incomparablement plus raffiné, mais en ce qui concerne les éléments fondamentaux, les types de construction sont identiques.

Les systèmes à base de colonnes et de poutres posèrent des problèmes de structure différents. Il fallait notamment s'assurer que la résistance latérale était suffisante. En Europe, on optait généralement pour la triangulation, mais au Japon, où les tremblements de terre sont fréquents, la rigidité qui en résultait aurait occasionné d'autres problèmes, et les structures devaient être « solides et élastiques ». Des joints d'une incroyable complexité étaient parfois conçus pour préserver la continuité des principaux éléments tout en permettant à l'ensemble de la structure de bouger très légèrement. Les compétences des charpentiers étaient très étendues. Au Japon, la tradition exigeait qu'il n'y ait aucune distinction entre la charpenterie et la menuiserie.

L'une des grandes difficultés consiste à venir à bout des mouvements différentiels liés au fait que, lorsque son degré d'humidité varie, le bois diminue ou augmente différemment de dimensions sur ses axes radial et longitudinal. Faire sécher le bois



peut réduire le problème sans toutefois le résoudre entièrement. En Russie les maisons traditionnelles étaient construites avec du bois vert puis « aérées » ; elles étaient ensuite démontées puis réassemblées avec de la mousse insérée au niveau des joints afin d'assurer une isolation parfaite. Les charpentiers norvégiens étaient particulièrement habiles car ils associaient pieux et rondins dans la construction des fameux « greniers », qui étaient à la fois le symbole et la réserve des richesses des familles agricoles, ainsi que le lieu où, selon la tradition, les jeunes mariés passaient leur nuit de noces.

En Chine et au Japon le bois était le matériau principal de pratiquement tous les édifices d'une certaine valeur architecturale. En Europe, en revanche l'architecture, par opposition aux constructions ordinaires, étaient dominées par la maçonnerie. Dans les pays occidentaux, les utilisations du bois les plus audacieuses passent souvent inaperçue, au-dessus des plafonds décoratifs. Les Romains ont souvent eu recours à de grandes fermes triangulées et leur exemple fut suivi pendant la Renaissance, époque à laquelle des portées de 20 à 26 mètres devinrent monnaie courante.

Les charpentiers anglais du Moyen-Age firent un large usage de la voûte en ogive. Cependant, sauf dans la cathédrale d'Ely, où un octogone ménage des échappées visuelles exceptionnelles-, le fruit de leurs recherches n'est que rarement visible. Leur réalisation la plus impressionnante est sans aucun doute le grand hall royal de Westminster, érigé en 1399 par le maître charpentier Hugh Herland. Pour obtenir une portée sans précédent, il utilisa une nouvelle forme de construction composite. Cette remarquable synthèse entre l'innovation mécanique et le raffinement esthétique a conduit John Harvey à qualifier ce lieu de « plus belle œuvre d'art du Moyen Âge européen».

Aux Etats-Unis, où le bois tendre est abondant et la main-d'œuvre rare l'industrialisation de la production progressa rapidement. Dans les années 1820, les sections standard, en grandes quantités, et l'apparition dans la décennie suivante de clous peu onéreux, fabriqués avec des machines, permirent une forme de construction radicalement nouvelle: la charpente « balloon-frame ». Il s'agissait une structure régulière, composée de petits morceaux de bois sur lesquels reposaient le plancher et les solives. Elle était habituellement recouverte de diagonales conférant à l'ensemble davantage de stabilité. Légère et d'une grande souplesse, cette boîte en bois devint, aux Etats-Unis, une des principales formes de construction.



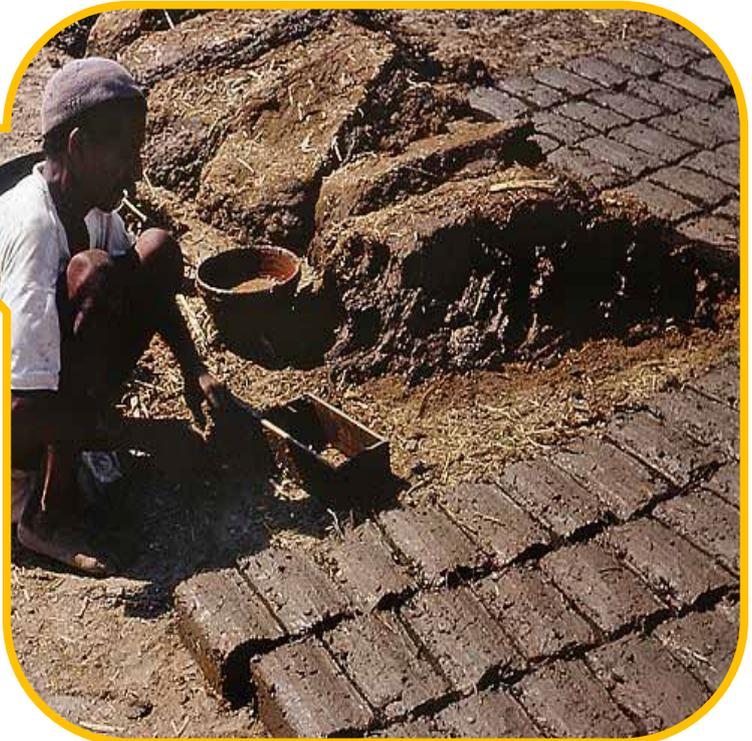
Nombre des évolutions importantes récemment constatées dans l'utilisation du bois ont été liées aux progrès réalisés dans le domaine des colles. De grands éléments structurels peuvent être laminés à partir de minces feuilles de bois tendre ou de toute une gamme de contreplaqués, et des planches en bois reconstitué sont aujourd'hui disponibles. Il s'agit de l'aggloméré ou de son récent successeur, l'aggloméré à densité moyenne, bien connu des bricoleurs et des décorateurs de plateaux de télévision. Dans le collimateur des organismes de santé ou des associations de protection de la nature, il est désormais déconseillé en raison de la poussière qu'il dégage quand on le

Bien que très fréquemment utilisé pour réaliser des bateaux ou des avions, le Mosquito de De Havilland, l'un des avions les plus célèbres de la Seconde Guerre mondiale, était entièrement en bois, le contreplaqué ne voit son utilisation se généraliser que dans les années 1950. Son grand avantage par rapport au bois tient au fait que ses très minces feuilles sont solidement collées perpendiculairement les unes par rapport aux autres et offrent ainsi une stabilité dimensionnelle améliorée. Le contreplaqué est un matériau courant de la construction moderne.

Idéal pour le coffrage temporaire du béton, il permet aussi de revêtir les éléments d'une ossature en bois. Avec des colles étanches, telles que la « résorcine formaldéhyde », il rend possible toute une gamme d'utilisations structurelles, les plus efficaces étant les « enveloppes sous contrainte », similaires aux utilisations pour les fuselages et les ailes d'avions. Le contreplaqué en bouleau, produit en grandes quantités en Finlande et en Russie, convient parfaitement pour recouvrir des éléments de structure, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, alors que les matériaux moins onéreux, fabriqué à partir de bois tendre, peuvent être recouverts de feuilles de bois plus dur, de grande qualité qui leur donnent une apparence plus luxueuse.

La brique

Le seul matériau de construction qui soit encore plus universel que le bois, c'est la terre. Divercement creusée, tassée, séchée ou cuite, la terre a historiquement constitué la plus large part des matériaux de construction, et de récentes estimations suggèrent qu'entre un tiers et la moitié des êtres humains vivent dans des demeures en terre. Les premières briques crues ont peut-être été



créées presque naturellement, en recueillant et en façonnant les morceaux de limon desséchés, sur les rives du Nil, du Tigre et de l'Euphrate. Les briques séchées à l'air et au soleil, ou adobes (terme emprunté à l'espagnol et dérivé, via l'arabe, du mot égyptien « thome » qui signifie boue), ont été utilisées dans le monde entier à chaque fois que la géologie et le climat l'ont permis.

Les demeures permanentes les plus anciennes, retrouvées au Moyen-Orient et qui remonteraient à environ 8300 avant J-C, étaient des constructions circulaires élevées à partir de briques de boue de forme ovoïde dont les surfaces supérieures découpées recevaient le mortier. Il est évident que nos maçons actuels sauraient comment les poser. Leur forme n'est pas sans rappeler celle des trulli en pierre du sud-est de l'Italie. Les premières pyramides égyptiennes étaient construites à partir d'un noyau en briques et, au 7^{ème} siècle avant J-C, les 90 mètres de la tour de Babel, qui inspira l'histoire biblique et qui fut le premier « gratte-ciel » de l'histoire de l'humanité, ont été construits en adobes, puis recouverts de briques cuites et de mortier d'asphalte. Contrairement à une idée reçue, les édifices de l'Athènes antique ne furent pas construits dans une pierre étincelante, mais avec des briques de boue : en harmonie avec l'esprit démocratique qui y régnait, les demeures des citoyens les plus aisés étaient également réalisées dans ce même matériau, très « humble ».

La construction est un domaine qui ne se distingue que rarement par ses innovations technologiques, et les premières briques cuites artificiellement fabriquées, en Mésopotamie vers 3000 avant J-C, doivent leur production au développement de la poterie en céramique. Moins onéreuses, les briques séchées au soleil continuent

cependant à être très largement utilisées ; elles sont le matériau le plus courant à Rome jusqu'à l'époque impériale-période pendant laquelle l'état acquiert une position de quasi-monopole sur leur production dans des fours conçus à cet effet. Bien que les briques cuites finissent par être produites en grandes quantités, la maçonnerie en briques est généralement recouverte de plâtre ou, sur les édifices publics ou les demeures des citoyens les plus aisés, par un fin revêtement de pierre.



La possibilité de cuire les briques dans des fours permet de les produire sous tous les climats et leur longue histoire déstabilise nombre de nos hypothèses en ce qui concerne les sources de ce matériau avant la révolution industrielle. L'art du briquetage se développe au gré des conquêtes romaines et s'enracine partout en Europe où des gisements d'argile appropriés le permettent, en Angleterre, au Moyen-Age, la première vague de constructions religieuses requiert de grandes quantités de briques. Lorsque le port de Hull est créé, en 1299, une briqueterie municipale voit rapidement le jour et fait de Hull la première ville anglaise construite en briques.

Cependant, pour les principaux édifices publics, y compris la Tour de Londres, les briques sont souvent importées de Flandre.

En Angleterre, jusqu'à la fin du 16^{ème} siècle, les briques ne sont utilisées que pour les habitations de la haute société. Lorsque Richard Weston fait construire Sutton Place, l'une des grandes résidences du début de la période Tudor, les murs ornés de losanges associent des briques normales et des briques vitrifiées importées de France à de la terre cuite utilisée à la fois pour la structure et la décoration. Ornant pratiquement tous les éléments, cadres de portes, fenêtres ou tourelles, la « terracotta » est utilisée plus qu'elle ne l'a jamais été en Angleterre et a probablement été imposée par les artisans italiens employés par Richard Weston. On retrouve ce mélange de matériaux indigènes ou importés et de traditions architecturales dans la plupart des pays européens. En Espagne, par suite de l'invasion maure, les techniques de construction en briques de l'Islam se mêlent à celles de Rome et subsistent longtemps après la Reconquête.

Comme marque de distinction, à Sutton Place, on choisit d'utiliser des briques plus longues que celles habituellement fabriquées à cette époque. Une chronique néerlandaise indique que 1238 « est la troisième année de fabrication des briques » et que la nouvelle forme est très fréquemment utilisée pour les édifices religieux du nord de l'Europe.

En Hollande plus que partout ailleurs, la brique l'emporte sur tous les autres matériaux, et on dit qu'au début du 16^{ème} siècle, la production de briques par habitant est deux fois supérieure au niveau qu'elle atteint en Angleterre au début de la révolution industrielle.

Un four néerlandais du 17^{ème} siècle peut produire plus de 600 000 briques en une seule cuisson et, un siècle plus tard, certaines briqueteries revendiquent une production deux fois supérieure. Ce n'est qu'au 19^{ème} siècle, époque à laquelle l'étrépage mécanique et le pressage des briques remplacent le moulage à la main, et où le four tunnel fonctionnant en continu est introduit, que l'on voit le taux de production augmenter de façon considérable. Utilisées comme ballast dans les navires que l'une des plus grandes nations commerçantes du monde envoie vers son empire, les briques néerlandaises arrivent en Afrique, en Asie et aux Amériques en grandes quantités, ce qui conduit Richard Goldthwaite à suggérer : « Il est probable qu'aucune

industrie des matériaux de construction n'a jamais bénéficié d'une diffusion aussi large de ses produits ».



La pierre

En dépit des possibilités qu'elle offre et de sa résistance, la brique est généralement considérée comme le parent pauvre de la pierre. Vitruve et Leon Battista Alberti recommandent son utilisation, mais les architectes de la Renaissance imitent leurs prédécesseurs romains et recouvrent leurs murs de briques de plâtre ou de pierre. Bien entendu, celle-ci est plus onéreuse et jouit, par conséquent, d'un plus grand prestige. Cependant, les deux matériaux peuvent permettre de réaliser les surfaces régulières qu'exigent les classiques en matière de clarté et de forme. Dans leur ouvrage intitulé « Theory and Elements of Architecture », publié en 1926, Atkins et Bagenal soulignent : « A tout édifice important correspond une carrière, un gisement d'argile ou une forêt clairsemée. » Bien que le commerce international des matériaux de construction romaine, soit bien supérieur à ce que l'on imagine, il n'en demeure pas moins, comme l'observent Atkins et Bagenal, que « les grandes écoles d'architecture sont aux sources mêmes des différents matériaux ». La Renaissance florentine n'aurait peut-être jamais atteint de tels sommets si la ville n'avait pu accéder, dans les collines situées en Fiesole et Settignano, à la « pietra serena », cette pierre grise facile à travailler, parfaitement adaptée aux nouveaux idéaux esthétiques. De la même façon, l'architecture monumentale de l'ancienne Egypte aurait été impensable sans les ressources naturelles du pays.

Occupant 1 100 kilomètres dans la vallée du Nil, de la Méditerranée à une arête de granit que l'on appelle la « premier

cataracte », la civilisation de l'ancienne Egypte bénéficiait d'une grande variété de pierres. La vallée proprement dite était riche en calcaire au Nord, en grès au Sud et des gisements d'albâtre offerts par le désert à l'Est. Encore plus à l'Est, dans les collines longeant la mer Rouge, on exploitait des gisements de granit noir, de diorite et de porphyre. Les pierres étaient ensuite transportées sur un canal qui reliait la mer Rouge au Nil.



L'utilisation de la pierre taillée débute, de façon très soudaine, vers 2 700 avant J-C, par la construction du complexe mortuaire du roi Djoser à Saqqarah.

L'architecture monumentale en briques séchées au soleil est florissante à cette époque et les caractéristiques habituelles des édifices religieux égyptiens, les murs inclinés, les claustras autonomes, les fausses portes en relief et les différents types de colonnes étaient bien établies. Que le temple dorique grec soit l'héritier de construction est contesté mais il est évident que les formes égyptiennes préexistantes ont été transposées directement dans les bâtiments en pierre.

En Égypte, l'excellence des tailleurs de pierre et la capacité organisationnelle des autorités centrales à mobiliser une main-d'œuvre considérable ont rendu possible la construction de monuments qui défient encore l'imagination. La grande pyramide de Kheops, à Gizeh, a nécessité 7,7 millions de tonnes de pierre. Elle a été érigée avec plus de 2,5 millions de blocs pesant chacun jusqu'à 200 tonnes. Du haut de ses 147 mètres, elle est restée la plus grande structure élevée par l'homme jusqu'au 19^{ème} siècle. Un obélisque en granit, considéré comme imparfait, est toujours au même endroit, près d'Assouan: achevé, il aurait mesuré plus de 41 mètres de haut et aurait pesé plus de 1200 tonnes. Il est clair que les Egyptiens auraient très bien pu le terminer et l'ériger s'ils l'avaient souhaité : les deux obélisques de Karnak (qui font 30 mètres de haut) ont été extraits et dressés en à peine sept mois, et sous la 18^{ème} dynastie, deux statues de 700 tonnes chacune ont été déplacées de 720 kilomètres à l'aide, pense-t-on, de cordes et de rouleaux, et d'une impressionnante main-d'œuvre. Tailler le granit était un travail d'une difficulté invraisemblable et être « envoyé au granit » était un châtement réservé aux criminels.

Bien qu'encore très impressionnantes, les pyramides que l'on voit aujourd'hui à Gizeh, à la périphérie du Caire moderne, ont été complètement dépouillées de leur enveloppe en calcaire ou en granit rose poli et ne donnent par conséquent qu'une petite idée de leur apparence initiale. Une petite section de calcaire taillé, comme un manteau de neige au sommet d'une montagne, a subsisté sur la pyramide centrale, de Khephren, et confirme que, loin d'être de simples amoncellements de moellons, les pyramides présentaient des surfaces parfaitement lisses. Eclatantes dans le soleil du désert et totalement dénuées des reliefs et inscriptions caractéristiques des autres monuments

égyptiens, elles avaient pour objet de matérialiser les rayons du soleil. Parvenir à la précision nécessaire à une telle échelle, les joints mesurent moins d'un millimètre d'épaisseur, exige des compétences de tout premier ordre en matière de topographie et de maçonnerie. On pense que les faces apparentes des pierres étaient taillées « in situ » à l'aide de scies, probablement de simples lames de cuivre, et polies avec du sable mordant. Largement couvert de calcaire, le paysage



grec n'offrait pas la variété qui aurait pu bénéficier aux architectes égyptiens.

En revanche, comme l'écrivait Xénophon, l'historien grec, au 4^{ème} siècle avant J-C : « il possède de la pierre en abondance dans laquelle on taille les plus beaux temples et autels, et les superbes statues des divinités ». La plus célèbre de toutes les pierres grecques était extraite de la carrière du mont Pentelikon : encore exploitée de nos jours, elle se déploie comme un vaste temple dominant Athènes. Découpé au niveau

des joints et des arêtes et parfaitement poli, le marbre pentélique-une forme de calcaire métamorphique, a permis de donner à des murs élevés pierre après pierre l'apparence de surfaces monolithiques.

En effet, le « contact moléculaire » entre les pierres était tellement étroit qu'une cristallisation se produisait dans les interstices. Ce marbre constituait également le matériau idéal pour les détails architecturaux et les sculptures. Il était réservé aux édifices les plus importants, et un large éventail de pierres faciles à tailler, qu'on désignait sous le terme générique de « poros », étaient utilisées pour la construction des bâtiments publics plus ordinaires. Comme l'indique le mot, sa surface était rugueuse et pleine de cavités, ce qui était parfait pour y appliquer du plâtre qui, de la même façon qu'il recouvrait jadis les édifices importants construits en briques, encourageait la persistance de la tradition favorable aux murs sans joints.

Les Grecs ont inventé toute une série de machines permettant de soulever et de déplacer de grands blocs de pierre qui, comme en Egypte, étaient taillés à la carrière avant d'être transportés sur le site de construction, où il ne restait plus qu'à effectuer le travail de finition. À l'époque romaine, le transport de la pierre devint une entreprise commerciale internationale de première grandeur. Le marbre était particulièrement apprécié, et comme les romains voulaient des teintes plus vives que les pierres ternes, couleur de terre, disponibles à Rome, les matériaux provenaient de toutes les régions d'Italie, mais aussi de Grèce et de France.

Le portique du Panthéon, achevé en 128, était composé de huit colonnes non cannelées de 14 mètres de haut, taillées et polies en Egypte. Les énormes monolithes furent ensuite envoyés à Rome par bateau, où les chapiteaux corinthiens, ciselés dans du marbre pentélique grec, furent ajoutés.

Pourtant, les Romains avaient déjà accès à une pierre qui devint encore plus célèbre que le marbre pentélique, le marbre de Carrare, extrait dans la colonie de Luni fondée en 155. De grandes quantités ont été extraites et envoyées à Rome pendant les trois siècles qui ont suivi. Le marbre de Carrare était la pierre préférée des sculpteurs de la Renaissance et Michel-Ange a vécu près des carrières pendant quelque temps, rêvant de transformer le pic de Crestola en un immense visage au-dessus d'un phare. La carrière est encore exploitée de nos jours et le marbre expédié dans le monde entier, le plus souvent sous forme de dalles utilisées comme parement.

Jusqu'au 18^{ème} siècle, la pierre de Carrare, comme tous les calcaires et marbres, était extraite par



clivage dans le sens des plans de stratification les plus faibles, comme le montre la « Vierge aux carrières » peinte par Mantegna en 1485. L'utilisation des explosifs a ensuite remplacé cette technique, et au 19^{ème} siècle les blocs étaient extraits à l'aide de câbles enduits d'une boue à base de sable et de pierre. Aujourd'hui, on utilise d'énormes câbles-diamant. Jusque dans les années 1960, on déplaçait encore des blocs de marbre d'une vingtaine de tonnes sur des traîneaux en rondins, exactement comme on le faisait à l'époque romaine. Alors que Carrare fournit un autre exemple de la continuité qui est une des caractéristiques les plus frappantes de l'histoire de nombre de matériaux, la structure du Panthéon, dont le dôme de 43 mètres de diamètre demeure le plus grand du monde jusqu'au 19^{ème} siècle, donne une petite idée de ce qui s'annonce.

l'acier

L'acier mis à part, la plupart des métaux utilisés de nos jours dans la construction sont travaillés depuis des milliers d'années-depuis, en fait, les âges du fer et du bronze. Les Romains ont également introduit l'usage du plomb pour les toitures, un matériau qui, selon Palladio, fut ensuite généralement utilisé pour les « palais, églises, tours et autres édifices publics ».

Des ponts suspendus en chaînes de fer ont été imaginés par Léonard de Vinci et construits en Chine au début de la dynastie Ming (1368-1644). Michel-Ange et Christopher Wren, quant à eux, ont utilisé des câbles en fer pour juguler la poussée vers l'extérieur exercée par les coupoles des cathédrales Saint-Pierre à Rome et Saint-Paul à Londres. Mais jusqu'à l'industrialisation de la production, l'utilisation du fer ou des autres métaux dans les quantités requises pour réaliser les éléments de structure était généralement soit d'un coût rédhibitoire, soit pratiquement impossible. La production du fer à grande échelle commence au début du 18^{ème} siècle et fait son apparition dans la construction dans les années 1770. Le procédé du « puddlage », utilisé pour le fer forgé, est inventé en 1784, et un ouvrier qualifié peut en produire près d'une tonne par jour. Suivent les techniques de laminage, appliquées ensuite à l'acier, dont on se sert d'abord pour les voies de chemin de fer, puis pour les éléments de structure.

Le fer est le matériau idéal pour les bâtiments industriels, tels que les filatures de coton et les entrepôts, dans lesquels il est principalement utilisé en compression et associé à des murs extérieurs en briques afin de créer des constructions de plusieurs étages, résistantes au feu. Au milieu du 19^{ème} siècle le fer peut être considéré « non seulement comme l'âme de presque toutes les manufactures, mais aussi comme le ressort principal, peut-être, de la société civilisée ». Cependant, la solidité du fer, comme matériau de structure, est sérieusement diminuée par l'excès de carbone et d'autres impuretés. Pour y remédier, l'Anglais Henry Bessemer breveta, en 1855, l'idée simple mais révolutionnaire consistant à purifier la fonte brute liquide grâce à un violent jet d'air. L'acier, qui n'était alors produit qu'en très petites quantités pour des utilisations spécialisées, pouvait désormais être produit à l'échelle industrielle.

Amélioré grâce à la méthode inventée l'année suivante par Robert Mushet, le procédé de conversion Bessemer jeta les bases de l'industrie sidérurgique moderne. Utilisé en compression, l'acier était encore trop onéreux pour les édifices légers et peu élevés ; en revanche, sa solidité rendit possible la construction des premiers gratte-ciel de Chicago. Le premier à avoir été construit entièrement en acier, en 1891, fut le Ludington Building, conçu par William Le Baron Jenney. Les 102 étages de l'Empire State Building ont été élevés à partir d'une structure en acier, et contrairement à l'Europe, où le béton armé est encore fréquemment utilisé, la structure en acier est toujours omniprésente dans les grands bâtiments américains.

Les grands inconvénients de l'utilisation de l'acier dans la construction sont son absence de résistance au feu et sa vulnérabilité à la rouille, il est donc indispensable de revêtir les pièces métalliques d'une couche de zinc ou d'une protection adaptée. A la différence du bois, qui prend feu et brûle à un rythme prévisible (environ 2,5 centimètres par heure), l'acier perd rapidement sa résistance mécanique lorsque la température dépasse 150°C. Dans les immeubles, l'acier était habituellement inséré dans de la brique, du béton ou des revêtements légers, résistants au feu, mais ces dernières années, on a commencé à utiliser des enduits intumescentifs qui s'appliquent comme de la peinture.

Les propriétés de l'acier peuvent également être aisément modifiées en fonction des besoins. Le laminage répété des plaques ou des sections, ou le tréfilage des câbles améliorent considérablement leur solidité en éliminant nombre des microscopiques « fissures de Griffith » qui résultent de la position des atomes dans la structure cristalline. Parfois l'effet de ces techniques est impressionnant : les meilleures cordes d'un piano ont une résistance à la traction qui est environ douze fois supérieure à celle de l'acier normal. En faisant augmenter

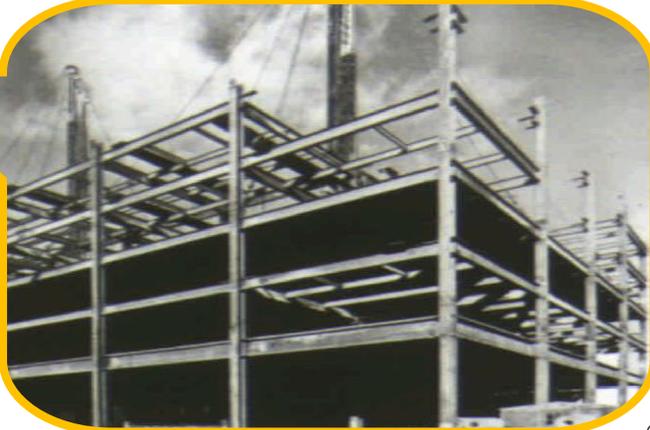
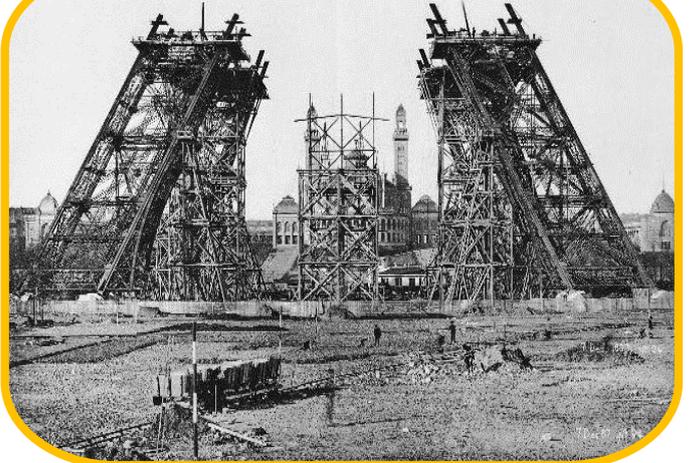
la quantité de carbone, la résistance à la traction est multipliée par deux ou trois, mais l'aigreur augmente au même rythme. En ajoutant du nickel et du chrome, on obtient l'acier inoxydable, mais son coût est nettement supérieur. Bien qu'il soit digne du nom qu'il porte lorsqu'il est utilisé dans des conditions normales, l'acier inoxydable a tendance à perdre de sa résistance à la corrosion quand les sollicitations à la traction sont élevées (un problème méconnu qui pourrait avoir de fâcheuses conséquences dans quelques décennies). L'ajout de grandes quantités de nickel est également à l'origine d'une transformation inattendue : l'acier Invar ainsi obtenu a un coefficient thermique pratiquement égal à zéro, ce qui lui assure des dimensions stables dans un large spectre de températures.



Pour résoudre le problème de la rouille, une autre solution, étonnante, consiste à ajouter de petites quantités de cuivre, dont l'oxydation, lorsque l'acier est exposé aux intempéries forme une couche protectrice. Initialement mis au point au début des années 1950 pour construire des ponts, cet acier devient la marque « Cor-Ten » déposée par l'US Steel Corporation. « Cor-Ten », ou « Acier patinable », comme on l'appelle aujourd'hui) est rapidement adopté par les architectes et les sculpteurs. Eero Saarinen, l'Américain d'origine finlandaise, fut le premier à l'utiliser à grande échelle, en 1964, pour le siège de John Deere and Company.

Au 20^{ème} siècle, l'acier est devenu omniprésent probablement, comme le souligne J. E. Gordon, parce qu'il « facilite la dilution des compétences ». Il permet l'introduction de chaînes de production n'exigeant qu'un minimum de travail qualifié, et nombre des aspects de la conception mécanique et structurelle se résument à des routines codifiées.

La production économique de l'aluminium ne débute qu'en 1880, aux Etats-Unis. Au début des années 1890, l'ALCOA (Aluminium Company Of America), produit environ 320 kilos par an et, en 1912, le produit apparaît sous forme de feuilles pour envelopper les confiseries. Dans les années 1920, la feuille ménagère fait son apparition et le même type de matériau commence à être utilisé dans la construction à des fins d'isolation et d'étanchéité. En 1903, l'aéroplane des frères Wright comprend des pièces en aluminium, mais la rareté et le coût de ce métal ne permettent de l'utiliser pour la structure des avions qu'après la Seconde Guerre Mondiale. Quelques années plus tard, le nombre de fours de fusion augmente rapidement, ce qui permet de fabriquer des parements en aluminium et des « murs-rideaux ». À poids égal, l'aluminium a une résistance à la traction identique à celle de l'acier, mais dans les structures où la charge de compression n'est pas trop forte l'aluminium est deux fois plus efficace.



Les premiers édifices entièrement en fer furent des halles, le marché au poisson de Hungerford, construit à Londres en 1835, étant le premier du genre, et des serres, telles que la célèbre serre aux palmiers de Kew Gardens, à Londres, conçue par Decimus Burton dans les années 1840.

C'est à un autre concepteur de serres, le jardinier Joseph Paxton, qu'il incombait d'élaborer la structure de verre et d'acier du Cristal Palace, joyau de l'exposition universelle de 1851. Les tergiversations

concernant le choix du projet obligèrent Paxton, tenu de respecter un délai très court, six mois, à imaginer une structure entièrement conçue à partir d'éléments standard, colonnes en fonte grandes plaques de verre et fermes en fer forgé rivées. La résistance du fer donna à l'ensemble une légèreté sans précédent, et un siècle et demi plus tard le Cristal Palace demeure l'un des tours de force architectural de l'ère industrielle.

Deux autres structures en métal, tout aussi impressionnantes, apparaissent à Paris, en 1889, à l'occasion de l'Exposition universelle : la tour de Gustave Eiffel, construite en fer forgé, et non pas en acier, que le « magicien du fer », comme on l'appelle, rechigne à utiliser, et la galerie des Machines qui demeure la plus grande des structures en fer à portée libre. Conçue par l'architecte Dutert et l'ingénieur Contamin, elle fait succéder sur 114 mètres des arcs à trois articulations, d'une incroyable délicatesse, qui reposent sur le sol. Trop grande pour permettre une utilisation normale, cette galerie est démolie en 1910.



le verre

L'architecture de ces grandes structures de fer et d'acier aurait été inconcevable sans l'utilisation conjointe de grandes plaques de verre. Produit apparemment magique, obtenu en chauffant de la silice, de la chaux et un alcalin, tel que la soude ou la potasse, le verre est fabriqué depuis l'âge du bronze. A la différence des métaux ou d'autres matériaux réalisés en chauffant des solides

jusqu'à ce qu'ils se liquéfient et s'amalgament, le verre n'a pas de structure cristalline mais conserve les caractéristiques moléculaires aléatoires d'un liquide. Pendant une grande partie de son histoire, il a été considéré comme un matériau de luxe. Dans l'Antiquité, il était plus souvent opaque que transparent. Les premiers à utiliser le verre à grande échelle furent les Romains. Il apparaît pour des dallages, sous forme de fins panneaux constituant un parement, pour des châssis de forçage en horticulture, et même pour des tuyaux d'écoulement. Egalement utilisé pour des fenêtres, il ne remplace pas, néanmoins, le mica, l'albâtre et la nacre.

Les Romains fabriquaient du verre plat soit par coulage, soit en le soufflant dans un cylindre, puis en l'aplatissant dans le four, le produit obtenu étant appelé « verre à vitre ». Comme pour les briques, les Romains ont largement diffusé les techniques de fabrication du verre, et c'est dans les vallées de la Seine et du Rhin, encouragée par des cieux moins cléments et le développement de la construction en style gothique, que l'industrie du verre à vitres prend son essor pendant le Moyen-Age.

Aux procédés du coulage et du verre à vitres, s'ajoute celui du verre en plateaux. Utilisé pour fabriquer des assiettes, en Syrie, pendant les trois premiers siècles de notre ère, il consiste à faire tourner du verre fondu sur des disques qui peuvent mesurer jusqu'à un mètre de diamètre. Le procédé du verre en plateaux réapparaît en Normandie au 15^{ème} siècle, puis se répand à Venise et en Angleterre. Plus fin, et d'une clarté plus uniforme, son principal inconvénient est la loupe disgracieuse qui subsiste en son centre.

Le verre obtenu par coulage doit être meulé et poli, mais donne de superbes résultats. C'est l'approche qu'adopte le Normand Louis Lucas de Nehou, placé par Colbert à la tête de la Manufacture royale des glaces, lorsqu'on lui demande d'équiper en miroirs et en vitres les carrosses de l'aristocratie. Dès 1691, il redécouvre et améliore le procédé de la glace polie.

Le développement industriel du 19^{ème} siècle et de la première moitié du 20^{ème} siècle n'a que peu d'effet sur la fabrication du verre. Cependant, par suite de la suppression, en 1845, de l'accise sur le verre, Dickens souligne qu'en une semaine la Thames Plate Glass Works produit à elle seule autant de verre à glace que tous les miroiteries d'Angleterre. Au milieu du 20^{ème} siècle, trois façons complémentaires de fabriquer du verre sont utilisées. Le verre fin est réalisé par étirage, le verre épais par coulage et le verre imprimé et armé par sertissage. Puis, en 1952, en Angleterre, Alastair Pilkington, un simple employé de la société homonyme établie dans le Lancashire, a l'idée simple mais révolutionnaire de couler le verre sur une surface d'étain fondu. Une usine pilote est créée deux ans plus tard.

En 1959, le nouveau procédé du « verre flotté » est parfaitement viable d'un point de vue commercial et il ne tarde pas à remplacer le verre laminé. Au milieu des années 1980, le verre flotté conquiert également une large part de la production du verre à vitres mince. Il exige cependant des mises de fonds considérables et l'exploitation doit fonctionner en continu, à raison d'environ 15 mètres par minute, jour et nuit, année après année, jusqu'à ce que l'usine ferme pour les travaux de maintenance.

La grande faiblesse du verre, cela va sans dire, est sa relative fragilité. Bien que sa résistance à la compression soit comparable à celle de



plusieurs pierres, il peut se briser assez facilement lors d'un impact ou d'un cintrage. Certains textes du Moyen Age font référence au « verre incassable », que l'on tente probablement d'inventer depuis la nuit des temps : comme pour la transformation des métaux communs en or, sa production devint un véritable défi pour les alchimistes.

Avec l'utilisation croissante du verre pour les toitures et les véhicules à moteur, les préoccupations en matière de sécurité conduisent à des innovations dont les répercussions sont profondes. Les frères Pilkington commencent à inclure du grillage de basse-cour dans le verre (première forme armée, à mailles carrées soudées) qu'ils utilisent pour les lanterneaux dès 1896, alors que pour les véhicules, un verre de sécurité feuilleté est élaboré. Celui-ci est initialement constitué d'une matière plastique, du Celluloïd, par exemple, souvent transparente, encollée entre deux couches de verre.

Les premières formes de « verre incassable » impliquaient une phase de trempe, qui consistait à plonger le verre dans de l'huile chaude. Solidifiant immédiatement les couches externes et laissant l'intérieur, encore liquide, se refroidir et se contracter lentement, ce procédé avait pour effet de mettre les surfaces en compression et le noyau en tension. La technique fut perfectionnée dans les années 1870, mais elle ne put être appliquée au verre à glace que dans les années 1930, des soufflettes de répartition étant utilisées pour réaliser un refroidissement rapide. Le verre trempé contemporain bénéficie d'une résistance huit à neuf fois supérieure à celle du verre normal, ce qui a favorisé des progrès considérables tant en termes de dimension que d'utilisation.

L'enthousiasme suscité par le verre trempé retomba pendant quelque temps en raison d'une série d'échecs inattendus et d'abord inexplicables. Le premier problème survint à la fin des années 1980 lorsque de grands panneaux de verre trempé se brisèrent spontanément. L'analyse structurelle des systèmes de revêtement n'élucida aucune des causes éventuelles, mais on finit par découvrir que des particules de sulfure de nickel présentes dans le sable de la composition initiale pouvaient être à l'origine du problème. Le phénomène précipitait la détente des contraintes internes et faisait « exploser » le verre en une myriade de petits morceaux.

le béton

Dans l'histoire de l'architecture moderne le verre est indissociable de l'ossature en acier et en béton armé. Le développement du béton moderne, dont les possibilités ont été presque totalement ignorées depuis son invention par les Romains, débute avec l'introduction de ciments artificiels bien plus résistants que les mortiers de chaux utilisés jusque-là pour maçonner les pierres et les briques. Le portland ciment breveté en 1824, est produit en faisant brûler de la chaux et de l'argile dans un four. Peu après, le béton est coulé in situ pour élever des murs, mais il faut attendre encore près d'un siècle de plus pour que les blocs en béton manufacturé commencent à rivaliser avec les briques.

L'idée de renforcer un matériau abondant tel que la terre argileuse avec une espèce d'armature, de la paille ou des lattes de bois, par exemple, n'était pas nouvelle. En revanche, la possibilité d'associer le béton au fer ou à l'acier était liée à une heureuse coïncidence : les trois matériaux ont pratiquement le même coefficient de dilatation thermique. L'éventualité d'une fissuration destructrice était donc écartée. Pour ce matériau, c'est en France que les progrès fondamentaux sont réalisés. Dans les années 1850, le constructeur François Coignet renforce des dalles de béton avec des petites poutres en fer forgé, et en 1867 le jardinier Joseph Monier fait breveter son idée consistant à renforcer de grands bacs à fleurs avec des structures en câbles métalliques, invention qui sera à la base du béton armé contemporain. Comme nous l'avons vu dans ce bref résumé, l'histoire des matériaux de construction est émaillée de « transferts de technologies » en provenance d'autres domaines, parfois inattendus. François Hennebique a en effet aussitôt appliqué l'idée au bâtiment et complété l'invention en cintrant l'acier à

béton de façon à ce que les dalles des sols, les poutres et les colonnes fonctionnent comme une unité structurelle continue. Pendant la première décennie du 20^{ème} siècle, la théorie relative à l'élasticité des structures est élaborée en Allemagne et permet une analyse systématique du béton armé : les techniques mises au point ultérieurement ont été améliorées, mais n'ont jamais été remplacées.



Ce sont les romains qui inventèrent le béton qui n'existait pas à l'état naturel. Cette invention remonte à l'emploi de la pouzzolane, comme on l'appelle aujourd'hui-dans les mortiers utilisés pour maçonner les briques. Extraite sur les versants du Vésuve, la pouzzolane produit un ciment naturel lorsqu'elle est mélangée à de la chaux, que les Romains obtenaient en brûlant du travertin. Comme granulats, les Romains utilisaient des fragments de tuf calcaire et de pépérin, puis de briques. Les murs du Panthéon ont été coulés dans des coffrages permanents en briques, et assortis d'arcs, de décharge impressionnants qui, au 20^{ème} siècle, ont inspiré l'architecte américain Louis Kahn. Les rangées de caissons qui composent la voûte furent réalisées grâce à des moules provisoires en bois qui, une fois retirés, laissent paraître le béton.

Les Romains n'ont pas tardé à exploiter les possibilités offertes par le béton, et plusieurs autres édifices importants, comme les grands



termes, auraient été inconcevables sans ce matériau. Pourtant, il ne fut guère utilisé par les constructeurs des siècles suivants et, jusqu'au milieu du 19^{ème} siècle, la pierre demeure, de très loin, le matériau prééminent pour les bâtiments européens les plus importants. Le Panthéon présentait également une autre caractéristique qui anticipait sur des progrès qui ne seront réalisés qu'à l'époque de la révolution industrielle : son portique était soutenu par des fermes en bronze d'une portée de 9 mètres.

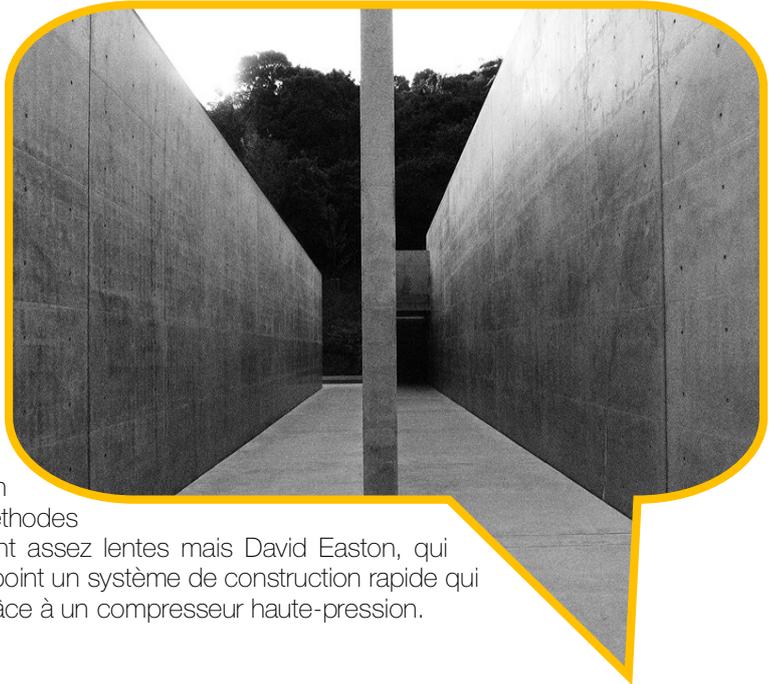
Coulé sous forme de « pierre liquide », le béton armé permit un large éventail d'innovations, notamment des portées sans précédent et la création de formes fluides, parfois délibérément, « organiques ». Considéré comme le catalyseur d'un nouveau style, notamment dans *The Ferro-Concrete Style*, l'ouvrage de Francis S. Onderdonk publié en 1928, son potentiel fascine les architectes modernes. L'architecte hongrois Istvan Medgyaszay analyse, au début du 20^{ème} siècle, les « solutions artistiques » qu'autorise le béton armé et suggère de s'inspirer des constructions vernaculaires en terre et en bois.

Les idéales esthétiques de l'architecture moderne sont inextricablement liées aux innovations que l'acier, le béton armé et le verre ont rendues possibles. En ce début du 21^{ème} siècle, d'autres préoccupations ont commencé à s'imposer, notamment celles qui touchent au réchauffement de la planète et à la durabilité des ressources. Après la production alimentaire, le bâtiment est le plus grand consommateur mondial de matières premières. C'est également l'un des secteurs les plus gaspilleurs et les plus pollués. Nombre de procédés d'extraction ont pour conséquence la production de quantités considérables de déchets : dans le secteur de l'ardoise, par exemple, parfois moins de 1% de la quantité extraite arrive sur le chantier de construction. Les bâtiments occupés consomment près de la moitié de l'énergie que nous produisons.

Au-delà des qualités esthétiques et structurelles des matériaux, les architectes doivent désormais également tenir compte des quantités d'énergie qui leur sont associées, des possibilités qu'ils offrent en termes de recyclage et de la renouvelabilité de la ressource. Ces problèmes de durabilité sont complexes et vont bien au-delà des ambitions du présent ouvrage 34 mais pour conclure ce rapide tour d'horizon, il est fascinant de noter que certaines des réflexions les plus poussées sur les matériaux de construction trouvent encore leur inspiration dans les « huttes primitives ».

La maison en roseaux des marais de la Mésopotamie peut désormais être considérée comme une construction responsable du point de vue de l'environnement et comme un exemple dont notre civilisation postindustrielle devrait s'inspirer. On ne verra sûrement pas beaucoup de maisons en roseaux dans les quartiers résidentiels des pays occidentaux, mais les matériaux apparemment « primitifs », tels que le bambou, le pisé et les balles de paille, trouvent aujourd'hui de nouveaux défenseurs et pas seulement dans les rangs des mouvements alternatifs. Quiconque a déjà vu les échafaudages en bambou des gratte-ciel de Hong Kong ne peut douter des qualités structurelles de ce matériau. A croissance très rapide, léger et extrêmement résistant, le bambou est utilisé depuis des siècles et a récemment fait l'objet d'une étude à l'Institut des structures légères créé par Frei Otto à l'université de Stuttgart.

En 1982, une grande exposition et une conférence consacrées aux constructions en terre se sont tenues à Paris, au centre Georges-Pompidou. Les bâtiments en pisé font également l'objet de recherches approfondies, notamment à l'école d'architecture de Grenoble. Ce matériau est également utilisé tel quel, à la fois pour des raisons esthétiques et écologiques, par un nombre croissant d'architectes, dont l'un des pionniers est l'Autrichien Martin Rauch. Les méthodes traditionnelles utilisant le pisé sont assez lentes mais David Easton, qui travaille aux États-Unis, a mis au point un système de construction rapide qui tasse la terre dans un coffrage grâce à un compresseur haute-pression.



Bien que la construction en pisé ne fasse encore que peu d'adeptes dans le secteur du bâtiment, il est indéniable que le matériau offre de sérieuses possibilités et qu'il bénéficie d'un regain d'intérêt dans ce monde pollué et soucieux de ses ressources énergétiques. La construction d'un édifice en pisé nécessite dix à vingt fois moins d'énergie qu'un bâtiment en béton ou en brique. D'autre part, s'il est élevé correctement, il peut durer beaucoup plus longtemps qu'un bâtiment construit autour d'une ossature en bois. Le matériau est presque toujours disponible localement, généralement sur le chantier proprement dit, et les murs qu'il permet de créer offrent une bonne isolation et absorbent l'humidité naturellement. Enfin, lorsque la construction a fait son temps, elle peut être entièrement recyclée dans la terre d'où elle provient.

Jusqu'à récemment, construire en bois était considéré comme aussi régressif, par de nombreux architectes, qu'élever des murs en pisé. Mais l'image de ce matériau a évolué, en partie parce qu'il semble désormais indispensable d'utiliser davantage les ressources renouvelables, et en partie parce que les architectes, libérés du fardeau qui les poussait à démontrer leur modernité en utilisant ostensiblement des « matériaux » industriels, ont recommencé à explorer ses possibilités esthétiques et structurelles. L'architecture du 20^{ème} siècle a été dominée par l'acier et les valeurs de l'entrepreneuriat qui lui sont associées. Le 21^{ème} siècle promet d'être beaucoup plus varié : il associera des matériaux nouveaux, qui restent à inventer, à d'autres, plus traditionnels ou résolument industriels, et préférera tirer parti de leurs multiples possibilités plutôt qu'adopter des



solutions toutes faites.

les fonctions significatrices des matériaux

Contemplant un épais morceau de verre jaune, Bruno Taut écrit : « Il est aussi lourd qu'une brique néanmoins il change constamment d'apparence ». « Les effets que la lumière peut produire, poursuit-il. Sur une forme pourtant fixe, sont tout simplement fantastiques. Le fruit du nouvel esprit que nous préparons ressemblera à cela. » La fascination que le verre exerce sur Bruno Taut résulte d'une tradition iconographique qui remonte à la Bible ; cependant, lorsqu'il écrit ces phrases, le passage du plaisir

visuel que lui procurent les effets de la lumière au « nouvel esprit » qu'ils peuvent symboliser semble se produire instantanément, comme une évidence. La fluidité de la lumière dans le verre s'insinue comme une métaphore de la liberté d'esprit, de même que la solidité du fer ou la dureté de la pierre pourraient devenir des métaphores de qualités semblables, caractéristiques d'une personne.



Attribuer de telles significations à des matériaux repose sur des conventions, comme en témoigne le conseil donné par l'abbé Laugier : « Il faut que les couleurs des marbres se rapportent autant qu'il est possible au caractère du sujet. Il serait également absurde d'employer des marbres verts rouges, jaunes et d'autres couleurs brillantes à un mausolée, et de prodiguer les marbres noirs à un retable d'autel ». Le fait que le noir, aujourd'hui comme hier, soit fréquemment associé à la mort, n'empêcha pas l'aristocratie du 15^{ème} siècle de choisir cette couleur pour ses vêtements, et de faire de nombreux émules au sein de la bourgeoisie, comme en témoignent nombre de portraits néerlandais du 17^{ème} siècle.

L'interprétation d'un matériau peut également être liée à ses origines : avoir été rapporté d'une croisade en Terre sainte ou, comme les colonnes de la basilique Saint-Marc à Venise, récupéré par le pillage d'un lointain ennemi, était source jadis d'une importante « valeur ajoutée ». De nos jours, comme le transport des matériaux s'est banalisé et que la volonté de protéger l'environnement revêt une importance grandissante, utiliser ce que l'on trouve à



proximité peut donner aux édifices un certain cachet.

Les matériaux rares acquièrent souvent une signification particulière mais, généralement, celle-ci n'est pas étrangère à leurs autres qualités. L'or, difficile à trouver et à extraire en grande quantité, résiste particulièrement bien aux intempéries. Son utilisation pour protéger les extrémités exposées de certains éléments en bois d'édifices impériaux ou religieux japonais était à la fois pratique et révélatrice du statut des constructions. Les pierres rares et difficiles à utiliser, telles que le porphyre, étaient appréciées pour leur valeur décorative tant les architectes de l'Égypte ancienne que par ceux de la Renaissance et, comme l'or, nombre d'entre elles résistent fort bien à l'usure du temps.

Au 20^{ème} siècle, des pierres ouvertement onéreuses ont souvent été utilisées pour des immeubles prestigieux mais à vocation banalement commerciale. Par réaction, de nombreux architectes ont cherché à accéder à une certaine valeur esthétique en imaginant des utilisations inattendues pour plusieurs matériaux bon marché ou négligés. Pour Alvar Aalto, cependant, la seule valeur refuge qui puisse exister est le marbre blanc d'Italie.

Pour bien souligner l'importance de la bibliothèque de l'université de technologie d'Helsinki sur le campus d'Otaniemi, il recouvre partiellement de marbre l'entrée du bâtiment. L'effet de « ruine » qu'il obtient ainsi ne suggère pas l'absence de ressources mais, au contraire, l'ambition artistique du projet. D'autre part, pour distinguer l'école d'architecture des autres départements, Alvar Aalto parvint à persuader les autorités que les édifices de la cour devaient être entièrement recouverts de marbre. Pour la librairie qu'il réalisa à Helsinki, le recours à sa pierre préférée est plus discret. Les encadrements des fenêtres qui donnent sur l'esplanade, l'une des principales artères de la ville, sont recouverts de marbre, mais sur les autres façades, la sobriété l'emporte. Pour Alvar Aalto, le marbre contribue à souligner le statut culturel de l'édifice, la Finlande est un pays éminemment littéraire, et à clarifier la situation urbaine du bâtiment.



Pour Gottfried Semper, la signification des monuments égyptiens en pierres dures telles que le granit ou le porphyre doit beaucoup aux difficultés rencontrées par « la main de l'homme » pour les tailler avec de « simples outils » : « Jusque-là et pas au-delà, de cette manière et pas d'une autre ! » Tel est le message silencieux qu'ils nous donnent à lire depuis des millénaires ». De nos jours, cependant, nous « pouvons tailler la pierre la plus dure comme du fromage » ; ces formes massives et anguleuses ont perdu une part de leur caractère indispensable. D'où l'insistance avec laquelle les sculpteurs modernes, comme Brancusi s'attachent à la valeur esthétique de la taille directe et leur préférence pour les formes abstraites.

Les matériaux peuvent également acquérir une signification à travers leur couleur : certaines de ces associations nous sont familières, mais d'autres relèvent de systèmes symboliques plus complexes. Les étoiles dorées sur un fond bleu foncé utilisées comme motif décoratif sur certains édifices vénitiens, par exemple la tour de l'horloge de la place Saint-Marc, semblent ne nécessiter aucune interprétation. Pourtant, elles deviennent plus intéressantes lorsqu'on sait qu'elles sont les emblèmes d'un doge.

Les porches de nombreux édifices du monde islamique paraissent indéniablement plus frais parce qu'ils sont « tapissés » de carreaux bleus et turquoise. De la même façon, les dômes et les minarets recouverts de céramique deviennent, dans le désert, de véritables oasis visuelles. Leff et est immédiat car les couleurs s'associent à la présence rafraîchissante des plantes et de l'eau; en mêlant leurs iconographies, ces carreaux deviennent les images rassurantes du paradis représenté sous forme d'un jardin céleste. Un tel symbolisme, autant que je sache, n'a pas présidé au choix du marbre vert pâle utilisé pour tempérer la chaleur de Florence ou, au contraire, du marbre rouge et « chaud » de Vérone utilisé à Venise pour ajouter une touche chaleureuse et accueillante au paysage humide de la lagune.

Bien que la signification d'un matériau soit étroitement liée à ses qualités physiques, il se peut que de nouvelles habitudes culturelles en transforment la lecture. Le statut de l'or en tant que signe de richesse a rarement été mis en question mais, à la Renaissance le recours à l'or a été critiqué sous prétexte qu'il avait trop chargé de sens. Giorgio Vasari que la valeur artistique devait résulter de l'inventivité de l'œuvre et non pas le prix des matériaux. Alberti, quant à lui, déconseillait l'utilisation d'une trop grande quantité d'or et considérait comme plus artistique de restituer l'illusion de la lumière et le luxe qu'il suggère à l'aide de simples pigments. Des réserves similaires pourraient être émises concernant le recours exagéré en architecture, aux pierres luxueuses. Certains architectes préfèrent éviter systématiquement tous les matériaux onéreux ; d'où la tentative d'Herman Hertzberger, visant à « démocratiser » le centre de musique Vredenburg d'Utrecht en le construisant avec des blocs de béton. Le problème, avec ce type de stratégie, c'est que la plupart des observateurs n'envisageront pas les blocs de façon « abstraite » ; il est fort probable qu'ils procéderont à d'autres associations, moins honorables.

En architecture, les multiples façons dont le béton a été perçu sont un bon exemple des significations parfois contradictoires qui peuvent être attribuées à un matériau. Pendant la première moitié du 20^{ème} siècle, il a été généralement considéré comme le matériau du futur. En 1964, les ingénieurs danois Christam et Nielsen célébraient leur longue carrière en Angleterre en publiant un ouvrage intitulé « The Golden Age of Concrete » (L'âge d'or



du béton). A cette époque, les villes modernes commençaient à être dénigrées et comparées à des « jungles de béton », expression qui, selon Thomas Raff, était « une métaphore pour dénoncer le mépris de l'humanité et l'étroitesse d'esprit ». Le béton n'est jamais tombé en disgrâce auprès des architectes et quatre décennies plus tard, un certain nombre de produits conçus en béton pour la maison et le jardin sont considérés comme de dignes représentants d'un style chic et contemporain.



L'exemple du béton montre bien à quel point les architectes se trouvent dans

l'impossibilité de contrôler la façon dont leurs projets seront accueillis et socialement interprétés. Pour leurs créateurs, les surfaces nettes et les détails en métal de l'architecture moderne étaient une profession de foi dans la raison et l'industrie considérées comme les moyens indispensables de l'accession à un monde meilleur. La transparence du verre était à la fois une source de lumière salubre et une métaphore de la démystification : « Les choses en verre, déclarait Walter Benjamin, n'ont pas d'aura. Le verre est, en effet, l'ennemi de la mystification. » Au sanatorium créé par Alvar Aalto à Paimio, où les vertus bienfaitrices du soleil sont célébrés par d'immenses fenêtres et un sol d'un jaune lumineux, la nouvelle architecture est largement acceptée comme l'expression adaptée des finalités du bâtiment. Mais pour les maisons, même les esprits les plus progressistes de l'époque ne se laissent pas séduire sans difficultés. Selon Ernst Bloch, les maisons fonctionnalistes avaient autant de « charme que des installations sanitaires », et Bertolt Brecht considérait qu'il fallait rechercher la cause du désir de vivre dans des maisons ressemblant à des « salles de bains carrelées » dans l'expérience de la saleté des tranchées de la Première Guerre mondiale.

Les architectes modernes ont parfois usé de la stratégie consistant à transposer les matériaux d'un contexte à un autre. Lorsqu'en 1903, Auguste Perret utilise des blocs de verre pour la façade de l'immeuble de rapport du 25 bis, rue Franklin à Paris, ils sont présentés comme des sources d'éclairage. Onze ans plus tard, au pavillon de Verre réalisé à Cologne par Bruno Taut, ils sont devenus le matériau principal comme à la maison de Verre, conçue à Paris par Pierre Chareau. Curieusement, l'industrie ne réagit qu'assez lentement à cette expansion potentielle de son marché : la signification du matériau et par conséquent ses utilisations possibles sont liées à la finalité strictement « fonctionnelle » pour laquelle il a été élaboré. Le treillis métallique utilisé par Le Corbusier pour le refuge de l'Armée du salut à Paris fut considéré comme une véritable provocation parce qu'il proposait de nouvelles associations.

Au 19^{ème} siècle, notamment dans le nord de l'Europe, les matériaux commencèrent à acquérir de nouvelles significations et tant qu'expressions de l'identité nationale.

Inspirés par le « rêve du Nord » selon lequel l'Allemagne et la Scandinavie étaient les héritières d'anciennes populations nordiques dont les racines communes remontaient au moins jusqu'à la chute de Rome, les architectes cherchèrent à élaborer des styles ostensiblement nationaux fondés sur des matériaux spécifiques. Cette importance accordée au matériau avait l'avantage supplémentaire de faire écho à l'idée qu'un style véritablement moderne émergerait nécessairement de la redécouverte de la « nature des matériaux ». En Finlande et en Norvège, l'attention se focalisa sur le granit. Construire avec le substrat rocheux de la nation permettrait, pensait-on, d'enraciner les nouvelles architectures nationales dans le paysage.

Ce faisant, on choisirait des formes adaptées à la rigueur du climat national et au caractère souple qui avait permis de transplanter « la fleur succulente de l'architecture italienne, loin du marbre et du soleil méridional ». Le granit avait également des défenseurs en Prusse, où le matériau était identifié à la « mère patrie » ; cependant, on y appréciait davantage ses qualités « morales » (solidité, constance) que sa présence dans le paysage.

Néanmoins, surtout en Allemagne, au Danemark et en Norvège, c'est la brique qui est considérée comme le matériau national. L'hôtel de ville de Stockholm conçu par Ragnar Ostberg, qui est probablement l'un des plus beaux exemples du bref épisode du romantisme national, fut construit en briques, comme son pendant tout aussi imposant élevé à Copenhague par Martin Nyrop.



Les tentatives finlandaises visant à exprimer un style national à partir du granit sont stylistiquement plus innovatrices. A la lumière de ce qui allait être construit seulement quelques années après son achèvement (en 1905), le siège de la Compagnie du téléphone d'Helsinki conçu par Lars Sonck peut paraître un peu dépassé. Pour ses contemporains, cependant, il fut non seulement une réalisation authentiquement nationale en granit, mais aussi - en dépit des connotations médiévales qui l'animaient encore - une tentative clairement moderne de transcender le style et de revenir aux fondements de l'architecture. Les solides colonnes, ornées de motifs primitifs, soutiennent d'énormes linteaux. L'ensemble fait penser à des mégalithes préhistoriques et la sensation de pesanteur est renforcée par les blocs impressionnants placés au-dessus des linteaux. Les différents blocs de granit ont été taillés de façon à faire légèrement saillie par rapport au plan de la façade et leur effet est souligné par l'association d'une pierre locale rougeâtre avec un granit gris pâle du nord du pays.

Les variations de texture et de couleur ont remplacé l'ornement et donnent à l'édifice tout son caractère.

La critique par Alvar Aalto du fonctionnalisme orthodoxe reposait en partie sur sa volonté de donner une inflexion nationale aux idées modernes (internationales) et,

comme les architectes du romantisme national, il a fréquemment exploité les associations évoquées par les matériaux. Ceci est particulièrement évident à la villa Mairea. Vue de loin dans son environnement boisé, elle pourrait passer pour une maison normale, blanche, de style international. Mais à y regarder d'un peu plus près, on remarque que les surfaces blanches sont en fait constituées de briques chaulées, plus évocatrices du pourtour méditerranéen que du machinisme. En se promenant autour de la maison, on découvre tout un ensemble d'autres matériaux: du planchéage en bois, des panneaux en teck, des parements en ardoise, un petit mur en pierre, une surface en carreaux bleus, des marches en pierre brute, des colonnes circulaires en béton et en bois.



Le résultat s'apparente davantage à un collage qu'à une composition architecturale conventionnelle. Les différents matériaux ont une fonction formelle et sémantique qui nous transporte dans l'univers artistique des associations qu'ils peuvent suggérer.

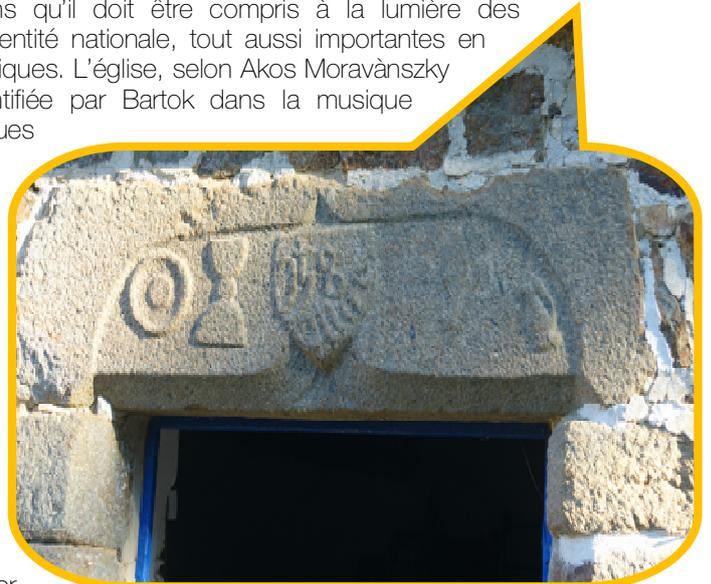
Lors de la construction de la villa en 1940, Alvar Aalto a sans nul doute puisé dans les idées finlandaises les plus progressistes et démontré qu'il était possible d'avoir un esprit international tout en proposant une identité clairement finlandaise. En dépit de cette image soigneusement élaborée d'un territoire où l'architecture moderne serait « naturellement fonctionnelle », la Finlande des années 1930 était dominée par une « culture (passéiste marquée par) l'écorce de bouleau ». La villa est manifestement et radicalement moderne, mais de sa cour à ses détails elle fait aussi délibérément référence aux traditions finlandaises, ainsi qu'à des influences diverses, que l'on pourrait appeler les « cultures du monde », comme celle du Japon.

Le petit mur en pierre autour du sauna fait penser à ces murs qui ceignent les églises ; les morceaux de bois qui forment la balustrade au-dessus du séjour évoquent des clôtures de fermes, mais « modernisées » par les montants en acier.

Certaines des associations sont plus personnelles. La cliente, Maire Gullichsen, qui a donné son nom à la villa, étudia la peinture à Paris dans les années 1920 et a peut-être encouragé cette composition qui tient du collage. C'est elle qui insista pour que la double colonne qui soutient son atelier soit conservée en dépit des desiderata des ingénieurs au sujet de la structure. De loin, le planchéage de l'atelier a un aspect « rustique », mais d'un peu plus près on s'aperçoit qu'il fait directement références au pavillon de la Finlande qu'Alvar Aalto conçut pour l'exposition universelle de Paris, en 1937.

L'utilisation, par Alvar Aalto, des matériaux et des détails pour suggérer des significations à caractère à la fois général et spécifique étant inhabituelle et peut, à certains égards, être mise en parallèle avec l'œuvre simultanément pré et postmoderne de Jozef Plečnik. Examinons par exemple, l'église du Sacré-Cœur qu'il achève à Prague en 1932. En ce qui concerne les matériaux, l'église se caractérise par le contraste frappant entre sa base foncée en briques de mâchefer ponctuée de pierres en saillie et le plâtre blanc de la partie supérieure, de la porte et des encadrements de fenêtres. D'un point de vue stylistique, la base est singulière alors que les éléments en plâtre sont : incontestablement d'inspiration classique.

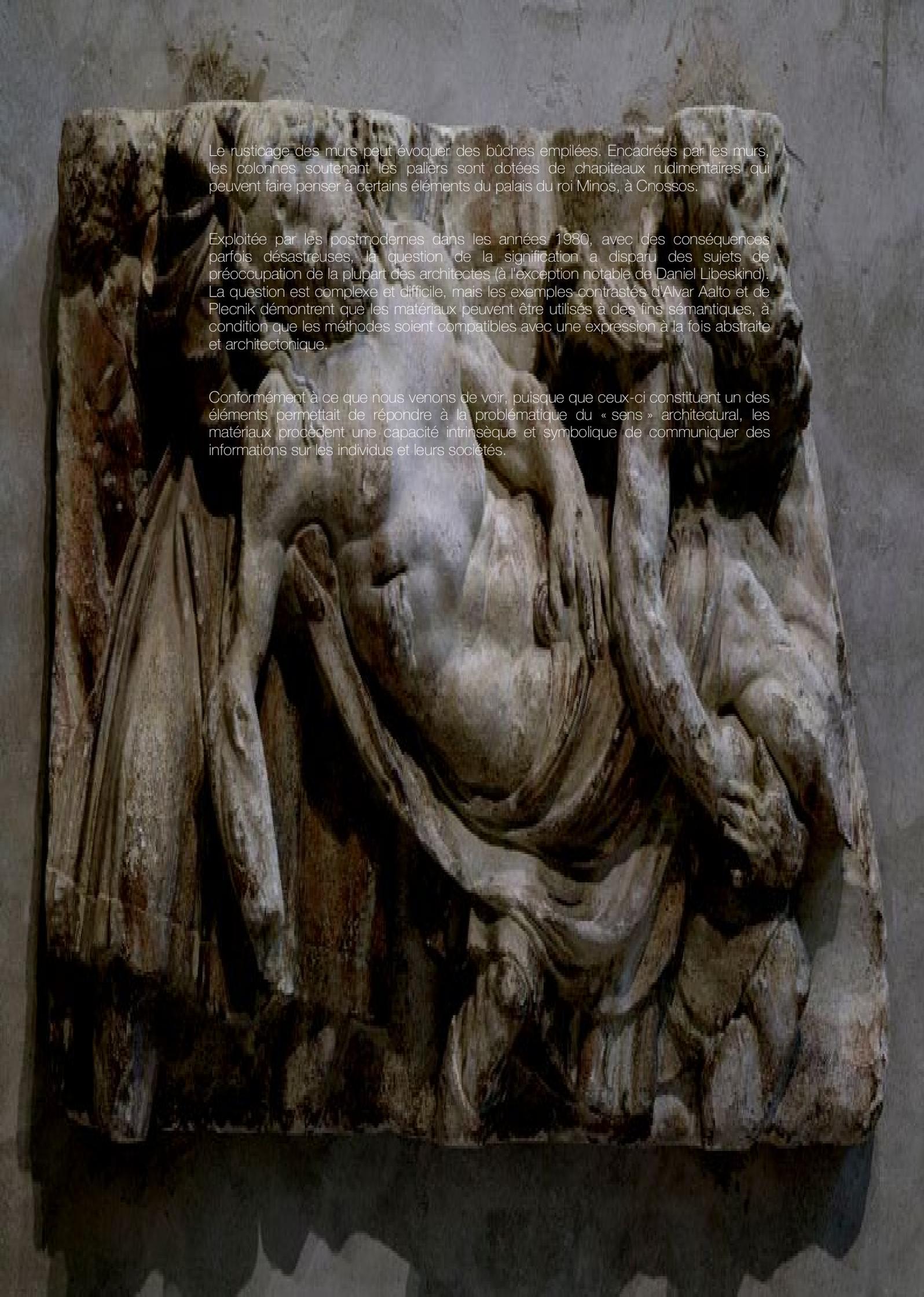
L'interprétation de cette composition présentée par Damjan Prelovsek dans son excellente monographie de Plečnik s'inspire de l'observation de Semper selon laquelle pendant l'Antiquité les textiles étaient parfois utilisés pour souligner la signification d'une architecture. Ici, avance Prelovsek Plečnik a « habillé » les murs blancs de l'église d'une robe en hermine, symbole de la dignité royale, représentée par la riche texture des murs en briques. Sans trop s'écarter de cette lecture de l'édifice, Akos Moravánszky suggère néanmoins qu'il doit être compris à la lumière des recherches antérieures en matière d'identité nationale, tout aussi importantes en Europe de l'Est que dans les pays nordiques. L'église, selon Akos Moravánszky a une structure similaire à celle identifiée par Bartók dans la musique populaire hongroise la base en briques correspondrait aux « strates anciennes » de la musique traditionnelle, avec ses « couleurs archaïques » et son rythme libre, alors que la superstructure, classique, comme la seconde strate des chansons, a un rythme strict et un ordre architectonique.



Quelle que soit la façon dont on l'interprète l'église de Plečnik, comme nombre de ses autres réalisations, est motivée par des préoccupations à la fois sémantiques et architectoniques. Pour s'en convaincre, il suffit de regarder

l'extraordinaire escalier qu'il conçut entre 1927 et 1931 pour relier la troisième cour du château de Prague et les jardins du Sud. Soucieux de ne pas chambouler cet espace historiquement défini, mais souhaitant doter l'entrée d'un auvent il chercha son inspiration dans l'œuvre de Semper. Cet élément nécessairement permanent est représenté sous forme d'une structure éphémère et mobile. Le « tissu » est en cuivre riveté et les supports principaux, deux longues poutres en bois, reposent sur le dos de quatre bœufs en bronze qui semblent prêts à transporter leur chargement.

Deux paliers ouverts sur l'extérieur conduisent le visiteur jusqu'aux dernières des marches de l'escalier. La construction s'inspire des idées de Semper selon lesquelles, dans l'histoire de l'architecture, le métal constituerait une phase intermédiaire entre le bois et la pierre.



Le rustiquage des murs peut évoquer des bûches empilées. Encadrées par les murs, les colonnes soutenant les paliers sont dotées de chapiteaux rudimentaires qui peuvent faire penser à certains éléments du palais du roi Minos, à Cnossos.

Exploitée par les postmodernes dans les années 1980, avec des conséquences parfois désastreuses, la question de la signification a disparu des sujets de préoccupation de la plupart des architectes (à l'exception notable de Daniel Libeskind). La question est complexe et difficile, mais les exemples contrastés d'Alvar Aalto et de Plecnik démontrent que les matériaux peuvent être utilisés à des fins sémantiques, à condition que les méthodes soient compatibles avec une expression à la fois abstraite et architectonique.

Conformément à ce que nous venons de voir, puisque que ceux-ci constituent un des éléments permettant de répondre à la problématique du « sens » architectural, les matériaux procèdent une capacité intrinsèque et symbolique de communiquer des informations sur les individus et leurs sociétés.

12 des grottes de Lascaux aux « big-data » les métamorphoses de l'information

Comme nous avons pu le voir lors du chapitre précédent, les matériaux font partis de ces langages tout comme la parole, les gestes, les sons, les signaux lumineux, les dessins, les documents écrits... L'histoire de la communication est aussi ancienne que l'histoire de l'humanité car depuis les origines, l'homme a besoin de communiquer. Pour que son message puisse être transmis ou perçu, il mit au point des codes, des alphabets et des langages qui lui permettent de donner sens à ses messages.

Histoire des récits

Avant d'utiliser l'écriture, l'homme primitif dessine pour décrire son environnement, pour raconter des histoires. La première expression « visible » se trouve sur les parois des grottes, habitats primitifs, comme celle de Lascaux et remonte au Paléolithique, il y a plus de 30 000 ans.



Ce sont des pictogrammes sont un ensemble de signes que l'être humain a créé pour communiquer. La toute première forme d'écriture se compose de dessins très stylisés. Il y a 5 500 ans, les Sumériens se servaient de cette écriture pour conserver la trace de leurs échanges : têtes de bétails, surfaces cultivables. Peu à peu, cette méthode va évoluer pour permettre de représenter des préceptes religieux, des idées. Plus tard, la graphie se simplifie. Les signes correspondent à des sons (un signe par syllabe). Ce sont les phonogrammes. En évoluant du « signe-image » au « signe-son » et en devenant cunéiforme, l'écriture passe du document aide-mémoire ou administratif au document littéraire et poétique. Ressemblant à de petits clous, les signes sont réalisés en pressant le calame (roseau taillé en pointe) sur des tablettes d'argile humide. Pendant plus de 2000 ans, l'écriture cunéiforme est utilisée en Mésopotamie mais aussi chez les Babyloniens, les Assyriens, les Akkadiens.

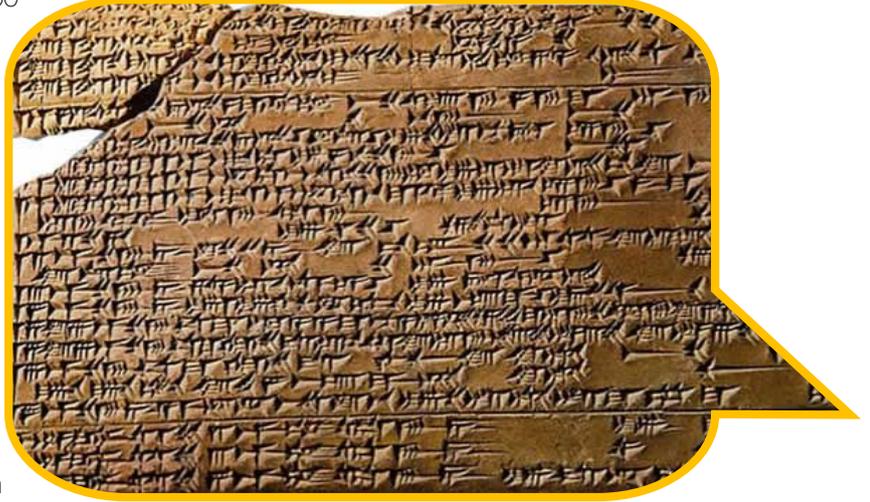
Certaines traces de cette écriture ont même été retrouvées en Chine où, plus tard, ce système sera remplacé par les idéogrammes. Les Égyptiens croyaient en la puissance magique de l'écrit. Pour eux, les images et l'écriture sont un moyen d'acquérir l'immortalité. L'écriture égyptienne apparaît vers 3100 avant J-C. Elle est intimement liée à l'art et l'art à la pensée religieuse. Les hiéroglyphes sont surtout gravés sur les monuments (statues, tombeaux, temples). Les idéogrammes chinois proviendraient de l'observation des traces des pattes d'oiseaux. Dans la tradition chinoise, l'écriture figure symboliquement les mystères du cosmos. De siècle en siècle, les pictogrammes se simplifient. Vers 300 avant J-C, le ministre Li Si établit une liste de 3 000 caractères, mais ce nombre ne va cesser d'augmenter pour atteindre aujourd'hui 55 000

idéogrammes dont 3 000 d'usage courant.

Contrairement aux autres écritures, le signe graphique est indépendant du signe phonologique : à chaque signe correspond un mot et non un son. L'écriture chinoise actuelle se lit de gauche à droite, mais celle des textes anciens et des poèmes se lit de haut en bas et de droite à gauche.

L'instrument utilisé pour écrire est un pinceau en poil de panthère

ou de cheval. Les supports sont le tissu de soie et le papier. En Chine, la calligraphie est un art à l'égal de la peinture. Les pays voisins de la Chine, tels la Corée, le Vietnam puis le Japon, vont adopter peu à peu ces caractères d'écriture.



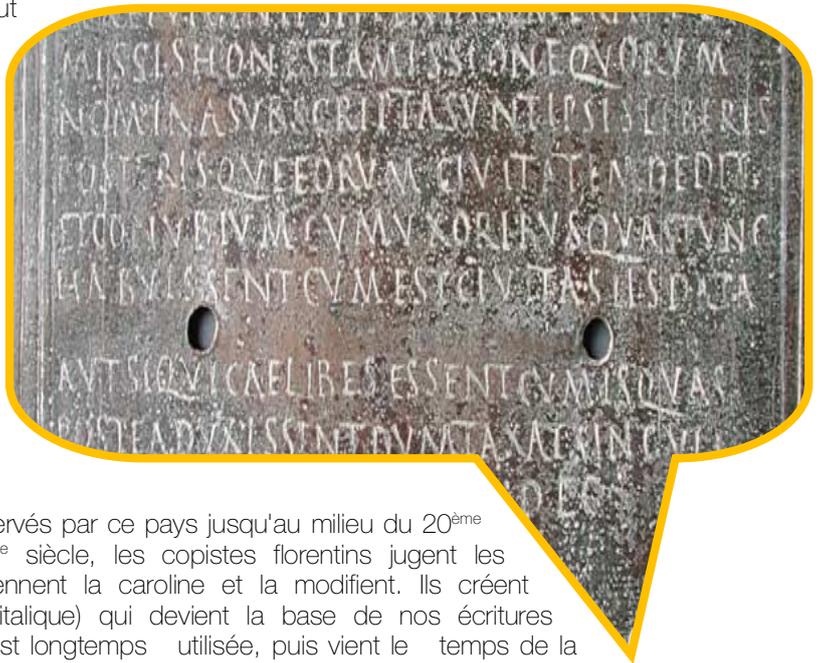
Formé à partir de l'écriture cunéiforme, le premier alphabet apparaît chez les phéniciens (Nord de la Syrie actuelle). A l'origine, il comporte 32 signes proches des signes égyptiens. Toutes les écritures du bassin méditerranéen proviennent de cet alphabet primitif. Quoique différentes dans leur forme, les écritures arabes, araméennes, hébraïques, sont issues de l'alphabet phénicien. A signaler que l'arabe et l'hébreu sont pratiquement utilisés tels quels aujourd'hui. Les écritures du sous-continent indien (sanskrit, tamoul, indi...) proviennent aussi du phénicien. Vers 800 avant J-C, les grecs ajoutent les voyelles à l'alphabet phénicien. De ces caractères grecs découlera, au 4^{ème} siècle, l'alphabet cyrillique utilisé de nos jours par les ukrainiens, les russes et les bulgares.



L'apparition de l'alphabet témoigne d'une préoccupation nouvelle chez l'homme. Adopter une écriture à la notation la plus fidèle possible de la langue, fixer les sons du discours. L'écriture devient ainsi purement phonétique. Il n'y a plus de lien entre le sens du texte et sa graphie. C'est

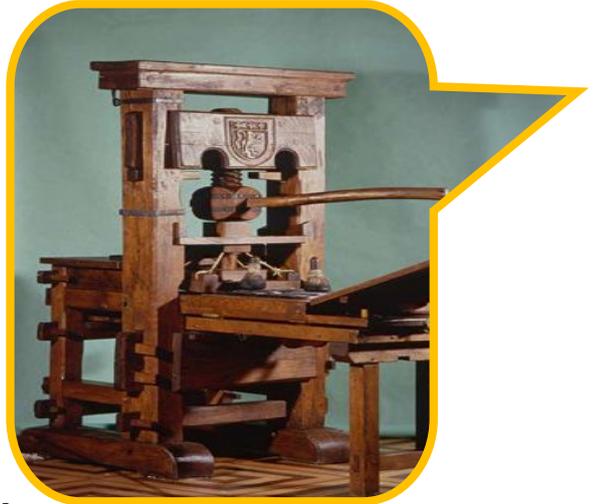
un système entièrement abstrait. Comportant 19 lettres, l'alphabet latin est issu de l'alphabet grec modifié par les Étrusques. Les mots sont écrits sur les pierres ou des tablettes de cire, avec des poinçons et des stylets. C'est cet alphabet latin que nous utilisons encore de nos jours pour écrire les lettres « capitales ». Les lettres X et Y apparaîtront plus tard.

Au 3^{ème} siècle, l'alphabet évolue. Le latin utilise alors l'onciale, une lettre plus petite, plus souple, plus ronde, plus facile à tracer. L'onciale sera utilisée jusqu'à l'époque carolingienne et adoptée dans de très nombreux pays du monde au détriment de leurs écritures traditionnelles. L'écriture carolingienne, la caroline, est née d'une recherche initiée par Charlemagne, l'écriture carolingienne, est plus fine et plus carrée que celle qui la précédait. Suite à une volonté de normaliser l'écriture, les moines copistes vont l'adopter dans tout l'Occident jusqu'au 12^{ème} siècle. C'est la grande période des livres manuscrits avec leurs magnifiques enluminures. A l'époque romane, cette écriture va évoluer pour donner l'écriture gothique. Plus étroite que la caroline, donc prenant moins de place sur les parchemins coûteux, l'écriture gothique apparaît au 12^{ème} siècle en Allemagne.

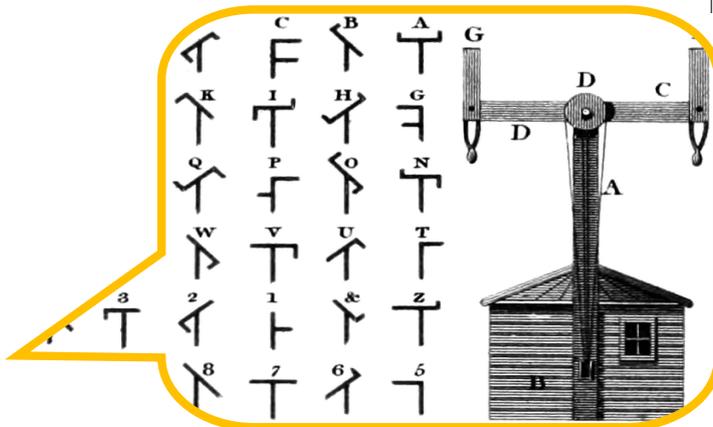


Ces caractères seront conservés par ce pays jusqu'au milieu du 20^{ème} siècle. Dès la fin du 19^{ème} siècle, les copistes florentins jugent les gothiques illisibles. Ils reprennent la caroline et la modifient. Ils créent l'humanistique (dite aussi l'italique) qui devient la base de nos écritures modernes. La plume d'oie est longtemps utilisée, puis vient le temps de la plume métallique suivie du stylo et aujourd'hui, de l'écriture électronique. D'origine germanique, entre le 2^{ème} et 14^{ème} siècle, l'écriture runique a été employée pour de nombreuses inscriptions retrouvées sur des poinçons, des anneaux, de fers de lances et sur des pierres. Le « Futark » (nom de l'alphabet runique, définit par la valeur phonétique des six premières lettres qui le composent: Fehu, Uruz, Thuriaz, Ansuz, Raidho et Kenaz), dans sa version la plus ancienne possède 24 lettres réparties en trois groupes de 8 (les aettir).

L'imprimerie apparaît au 14^{ème} siècle avec le bois « Protat ». Ce bois lisse était taillé, le dessin en relief étant épargné par la gouge, d'où son nom de « taille d'épargne ». Imprimer c'est reproduire par pression, rapidement, exactement le même dessin à autant d'exemplaires que l'on veut. Au moyen d'un motif en relief typographie, au moyen d'un motif creux, par gravure, au moyen d'un motif dessiné sans surépaisseur, la lithographie (sur pierre), l'offset ou la sérigraphie. L'invention du caractère mobile est traditionnellement attribuée à Gutenberg car c'est la technique du caractère de plomb qui a depuis, été presque exclusivement utilisée pour imprimer les textes jusqu'à ce que la photographie et l'informatique les remplacent. L'imprimerie permettra d'abord une plus large diffusion des idées et plus tard de l'information. La culture, jusque-là dans les mains de l'Eglise, allait passer aux mains des laïcs. Les premiers ouvrages furent des livres, arrivèrent ensuite la presse quotidienne, les revues, Les images les progrès de l'imprimerie et les procédés d'impression à faible coût ont permis d'inclure des illustrations monochrome et ensuite en couleurs dans les documents. L'illustration est devenue bande dessinée.



En 1464, ce fut la création de la Poste Royale par Louis XI et en 1794 Claude Chappe propose le télégraphe optique (tours avec des bras articulés dont la position codifie l'alphabet).



Mais ces différents mécanismes de transmission avaient leurs inconvénients. Les signaux sonores et visuels ne pouvaient pas être utilisés sur des longues distances et dans n'importe quelle condition. Le document écrit transmis par des messagers mettait trop de temps à arriver. Mais ces différents mécanismes de transmission avaient leurs inconvénients. Les signaux sonores et visuels ne pouvaient pas être utilisés sur des longues distances et dans n'importe quelle condition. Le document écrit transmis par des messagers mettait trop de temps à arriver.

En 1865, Maxwell prouve l'existence des ondes électromagnétiques et Marconi émet des signaux radio pour la première fois en 1896. Lee de Forest invente, en 1906, la lampe à triode qui permet la diffusion du son et de la voix humaine. C'est la Télégraphie Sans Fil (TSF). Le français Raymond Brailard et le belge Robert Goldschmitt diffusent, en 1913, pour la première fois des messages à destination d'auditeurs inconnus depuis Laeken en Belgique. Sept ans plus tard, la première retransmission aux Etats Unis d'une véritable émission de radio a lieu.



KDKA diffuse un reportage sur l'élection présidentielle de Warren G. Harding et de la musique. L'année suivante, c'est la naissance des premières stations de radio destinées à diffuser un programme quotidien en direction du grand public. La radio fut longtemps un monopole d'état, pour ensuite évoluer vers les stations privées à vocation commerciale et introduit de la publicité.

En 1923, apparaît le premier système télévisuel créé par John Logie Baird. Le « Télévisor » utilisant un disque de « Nipkow » à l'émission et un amplificateur à lampes à la réception et, pour moduler la lumière, un obturateur électromagnétique. Définition de la 1ère image transmise par 18 lignes.

L'« iconoscope », premier tube électronique analyseur d'images, de Wladimir Kosma Zworykin, qui permet les hautes définitions, constitue le vrai départ technologique de la télévision. Elle se répand pendant les années 1950 et est présente dans la plupart des foyers dans les années 1970. La distribution du signal se fit d'abord par antenne émettrice et la réception par antenne réceptrice. Le câble a permis d'améliorer considérablement le service en proposant un plus grand choix de chaînes et une meilleure stabilité. Enfin, la technologie numérique permet le transport de volumes d'information plus importants et plus rapidement. Internet est également distribué par ce canal.



Après la communication d'état puis la communication commerciale, la communication va peu à peu investir la sphère privée des citoyens et plus particulièrement la cellule familiale grâce à des inventions telles que le phonographe, la photographie, puis le téléphone et la radio. Cette époque correspond à la structuration d'un nouvel espace familial, la « privacy » victorienne. Une coupure entre la famille et le monde professionnel s'établit et la production industrielle se développe sur le marché de la consommation des ménages. Parallèlement se développent des spectacles publics, comme le théâtre et le cinéma, qui vont être autant de fenêtres s'ouvrant sur le monde. Ainsi, le téléphone, qui est au début d'un usage strictement professionnel, pénètre rapidement l'espace privé et concurrence le télégraphe. L'usage initial, envoyer des ordres ou des commandes de sa résidence, se déplace progressivement vers une sociabilité à distance, modèle qui s'est imposé dans les années trente.

C'est maintenant l'heure de communication globale caractérisée par la fin de l'ère des inventeurs-entrepreneurs au profit des grandes structures de recherche et développement, capables de mettre en place des stratégies de lancement sur les marchés. Cette époque est marquée par la mutation des centraux téléphoniques, l'apparition du transistor, le développement de la télévision et de l'informatique, l'apparition de la fibre optique, la montée en puissance de l'électronique, pour aboutir à ce que certains appelle « l'impérialisme de la numérisation ».

Au 20^{ème} siècle, la jeunesse va trouver dans le microsillon, le transistor et le rock une véritable identité culturelle. La famille se transforme alors, selon l'expression de M.F. Kouloumdjian en un « foyer juxtaposé », où chaque membre de la famille peut écouter la musique qui lui plaît. Cette individualisation de l'usage, prolongée avec l'apparition des baladeurs, permettra à leurs utilisateurs d'« être seul tout en étant ensemble ». Ce phénomène se retrouve dans la multiplication des récepteurs de radio et de télévision dans les foyers et la pratique du zapping devient le symbole d'une pratique hautement individualisée.

Cette individualisation de la réception gagne sans cesse des espaces nouveaux, tout en devenant mobile, comme le sont le smartphone, le lecteur MP3 ou l'ordinateur portable. Ainsi l'espace privé devient de plus en plus un lieu d'appropriation de l'espace public ou professionnel et l'on assiste à la superposition de deux sociabilités. L'une immédiate, souvent atrophiée et l'autre médiatisée. On pourrait dire que l'individu devient de plus en plus un citoyen du monde tout en étant de plus en plus seul.

une société informée

Ainsi, les nouveaux modes de communications instaurés par la généralisation des réseaux interactifs multimédias issus des technologies numériques entraînent une nouvelle sociabilité. La force de ces réseaux interactifs, réside dans le partage des ressources entre ordinateurs multiples. Trois concepts renforcent ce potentiel. Il s'agit de l'« intercommutabilité », l'« interopérabilité » et l'« intercréativité ». Ces termes fournissent la clef de la capacité du développement explosif du monde numérique et d'Internet. Ils permettent mariages et interactions à tous les niveaux de la société de communication. L'intercommutabilité favorise les relations entre des outils appartenant à des plateformes différentes telles que les smartphones, ordinateurs portables ou le « cloud ».

On pourrait croire qu'avec le bit qui représente la plus petite unité d'information au niveau électronique, on tient l'information dans son objectivité. C'est pourtant une évidence qu'une suite de 0 et de 1 n'a aucun sens, ce n'est une information que pour un programme qui sait l'interpréter. Le codage de l'information au niveau matériel est basé sur l'opposition de deux états électriques (on/off) qu'on fait correspondre à 0 ou 1, constituant le système numérique minimum (binaire) ainsi que la base minimum de la logique booléenne où le 1 et le 0 correspondent à oui ou non (vrai/faux). Il doit être clair qu'un oui ou un non n'a de sens qu'en réponse à une question et n'a aucun sens en soi. Il est donc intéressant de souligner que le minimum d'information correspond à une réponse par oui ou non, tout ou rien, à une question, ce qui met en relief son caractère fondamentalement discontinu, de tout ou rien. L'information est au minimum un oui ou un non car elle sert à se décider dans l'action, c'est un facteur discriminant, mais du coup, elle n'est pas dans la réponse elle-même qui ne peut être isolée de la question à laquelle elle répond ou de la situation qui lui donne sens.

Une autre propriété fondamentale de l'information, c'est sa capacité à générer du sens. C'est son caractère de « faire signe » et de renvoyer à autre chose qu'elle-

même, autre chose que sa matérialité. C'est ce qui permet au signe de se transmettre d'un émetteur à un récepteur, ce qui permet aussi sa reproduction à un coût dérisoire, d'être reproduction du signe et non pas de la chose. Cette capacité de répétition ou de reproduction est remarquable, opposant complètement les ressorts de l'information à ceux de la masse et de l'énergie, mais le caractère indirect de l'information est non moins fondamental. Le monde du signe et de l'information est le monde de la reconnaissance, d'une connaissance indirecte des choses, et donc imparfaite, d'une régulation après-coup dans un monde incertain.

Nous arrivons donc à ce moment magique de la transmutation du signal en signe, où la matière physique se fait le support d'un autre monde, celui de l'information, de la vie et de l'esprit qui ne prend appui sur la matière et le monde des causes que pour prendre son envol vers une toute autre dimension obéissant à d'autres lois, monde des formes et des idées, de la logique et de l'apprentissage, de l'éternité et de l'avenir, de la liberté et des finalités, de la folie et des illusions.

On peut se demander ce qu'il en était avant l'avènement du numérique. Ainsi, le téléphone et les enregistrements empruntaient jusqu'à maintenant des supports analogiques. Dans ce cas, le signal n'est pas reproductible à l'infini contrairement au numérique mais il y a bien une transmission de l'information. C'est qu'une transformation discontinue, du même ordre que la numérisation, s'opère au niveau de l'auditeur, de façon semblable à la perception de l'arc-en-ciel. La parole étant une suite discontinue d'informations (phonèmes, mots) ne fait, avec un téléphone analogique, qu'emprunter la continuité du signal pour se transmettre. A la réception, la reconnaissance des phonèmes, bien différenciés malgré les bruits parasites, permet de comprendre exactement ce qui s'est dit en général, et de le répéter ensuite autant qu'on voudra.

L'écriture utilisant un codage explicite était aussi, et ce dès l'origine, complètement reproductible, bien avant l'imprimerie, comme nous l'avons vu dans le précédent chapitre. Ce n'est donc pas une nouveauté. Ce qui est nouveau c'est la facilité et l'universalité des technologies numériques. La lettre déjà se détache de la page, à laquelle elle n'appartient pas mais au monde du sens. Non seulement une lettre est un signe discontinu sur un support lisse, mais c'est un signe qui renvoie à autre chose que lui-même (phonème, code, sens). C'est encore une fois par ce caractère indirect du signe qui n'est pas la chose elle-même qu'il peut être reproduit car il n'est pas reproduction de la chose mais seulement du signe. L'écriture appartient au monde de l'information et pas à celui de la matière ou de l'énergie. On a pris l'écriture en exemple mais bien avant l'invention de l'écriture la parole répétée de génération en génération suffisait à transmettre la tradition, les savoirs accumulés et la loi morale sans subir les injures du temps. Et, bien sûr, la vie n'a pas attendu le langage pour assurer la reproduction de l'ADN où se conserve la mémoire du passé et de ses stratégies d'adaptation réussies. La transmutation de la matière en information ne date donc pas d'hier, ni des techniques numériques.

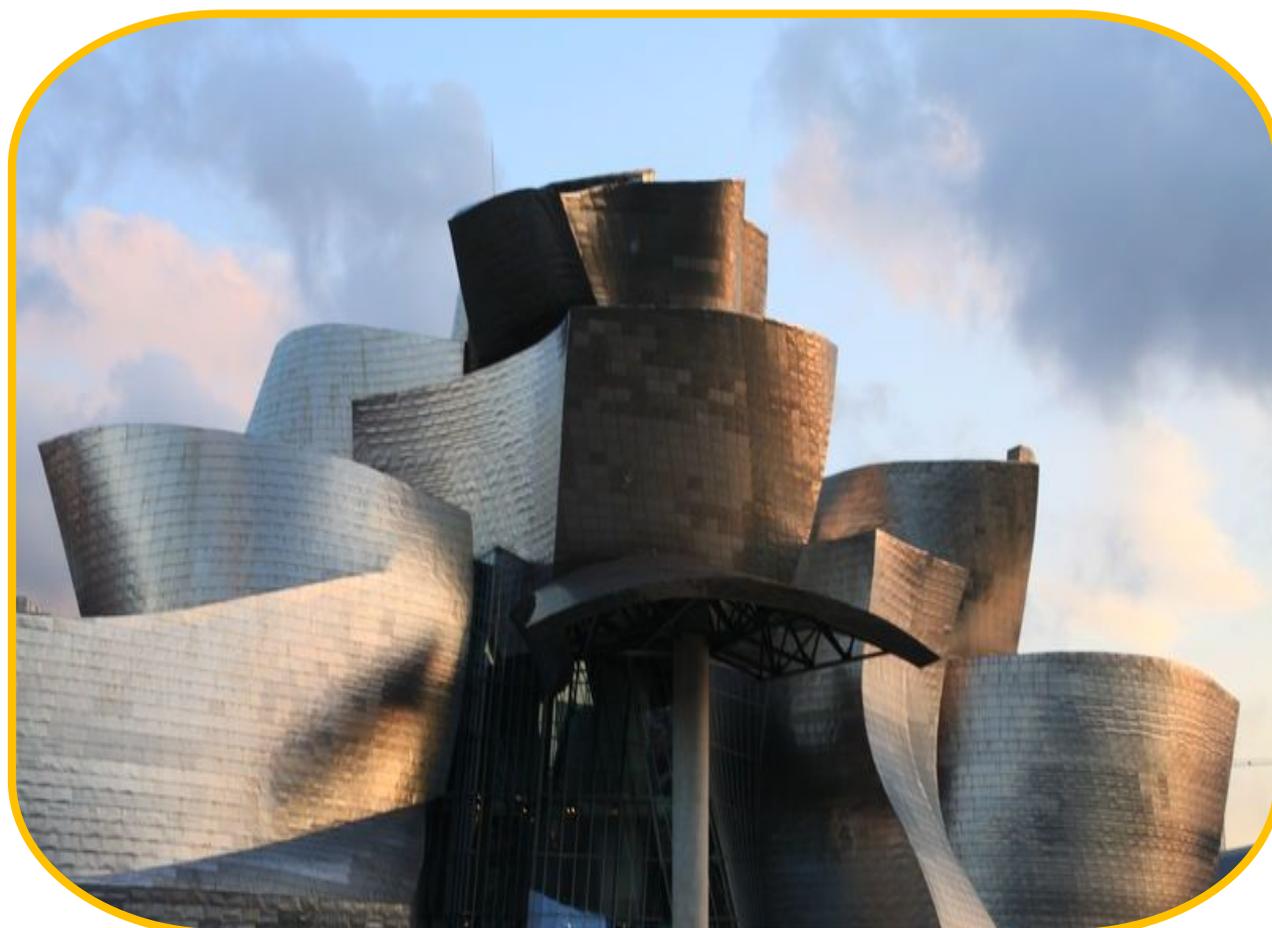
La société de l'information est en train de naître et avec elle de nouveaux pouvoirs, de nouveaux enjeux et de nouveaux défis. Fondées sur l'exploitation et la distribution de l'énergie, les sociétés industrielles sont des « sociétés de croissance ». Avec l'avènement de l'imprimerie, du téléphone et de la télévision, puis récemment des

réseaux comme Internet, naissent les « sociétés d'intelligence ». Il ne s'agit plus seulement de conquérir, de stocker et de distribuer l'énergie, mais surtout de conquérir, de stocker et de distribuer de l'information. Il convient donc de considérer les nouveaux outils de communication, leur convergence et leur intégration. Mais aussi comment ceux-ci ont évolué, quelles en sont les conséquences sur la production architecturale et quelles nouvelles matérialités permettent-ils d'envisager.

L'architecture entretient, il est vrai, des relations particulières avec la communication puisqu'elle est elle-même sans doute un média des plus anciens et peut-être des plus archaïques. Elle s'est d'emblée inscrite dans un dispositif de communication, cristallisant stratégies politiques, religieuses, corporatives ou économiques. Lorsqu'Adolf Loos exclut dans son texte de 1910, « Architektur », l'habitation du champ de celle-ci, la reconduisant au monument et à la tombe, il définit son champ, en opposition à l'ostentation du paysage urbain de Vienne, en termes de symbolique et de communication. L'architecture contribue à la communication sociale, en tant que relais des messages politiques, moyen de transmission de valeurs, de remémoration autant que de commémoration, comme l'a écrit en 1903 un autre Viennois, Aloïs Riegl, dans le *Moderne Denkmalkultus*. De ce fait, son rapport avec la politique est particulièrement intime. L'architecture sert tout autant le prince que la cité. Contrairement aux autres arts, cinéma compris, elle a les plus grandes difficultés à être subversive, dès lors qu'elle nécessite la mobilisation de moyens considérables pour exister aux yeux de tous, moyens qui supposent l'adhésion des pouvoirs à ses stratégies de projet.

La fonction médiatique de l'architecture a été extraordinairement utilisée depuis 1998 par ce que l'on peut désormais dénommer l'« effet Bilbao », c'est-à-dire la rencontre d'un site urbain en plein renouveau, d'une volonté politique, d'une stratégie d'entreprise culturelle et, surtout, d'une architecture provocante. Sans doute cette configuration n'a-t-elle rien de reproductible. Elle n'en déclenche pas moins la jalousie de certains architectes et le désir d'élus locaux fort nombreux à rêver d'une reproduction de l'expérience. Frank Gehry assure avoir reçu en 1999 deux cents invitations à concevoir des projets similaires. Quant au président du Guggenheim, Thomas Krens, il fait état de près de soixante demandes pour la création de filiales locales du Guggenheim, du Brésil à la Russie. Cet écho est dû à ce que le Guggenheim de Bilbao est à la fois le conteneur surprenant, provocant, d'une collection au demeurant de qualité moyenne et l'affiche chatoyante la signalant à l'attention de tous.

Depuis la rupture effectuée avec les canons l'architecture classique, de nouveaux modèles esthétiques se sont enchaînés. Pourtant, le renouvellement formel semble de paradoxalement très lent. Ainsi, à titre d'exemple, l'assimilation de l'édifice à l'organisme d'un vertébré, présent dans les théories de Viollet-le-Duc, est toujours perceptible dans l'architecture « high-tech ». Nous pouvons aussi évoquer le retour récent des « bulles », oubliées depuis les habitacles de plastique ou de béton projeté, canons des années 1960, qu'illustrent un certain nombre de projet actuel. Dans ce cas particulier, l'apparition de la conception assistée par ordinateur permet de passer du « bricolage inspiré » à une pratique de projet très proche de la production technologique industrielle.



Depuis toujours, l'histoire de la communication et de l'architecture sont intimement liées. A chaque civilisation son architecture, ses dispositifs constructifs, ses modes de construction, ses matériaux. Les constructions sont, depuis toujours, un témoignage précis de la culture et de la pensée de ceux qui les ont érigées. Elle est, depuis des temps immémoriaux, un des plus puissants outils de communication.

Ainsi, depuis ses origines, par l'architecture et à travers bien d'autres domaines, l'homme a besoin de communiquer, de transmettre son histoire, de partager son savoir, sa connaissance, sa science. L'essor actuel des nouveaux outils numériques dans ces domaines en sont la preuve. Aujourd'hui, par l'intermédiaire des signaux qu'elle génère, c'est l'électricité qui constitue la ressource même de nos moyens de communication et de nos systèmes d'informations. Nous avons pu voir, au cours de ce chapitre ce sont les recherches et les découvertes de Claude Shannon qui ont permis pour la première fois de définir une manière dont les systèmes complexes de signaux électriques pourraient être utilisées dans le but de reproduire les opérations logiques de la pensée humaine et ont permis également de faire apparaître les machines numériques et les ordinateurs. Les outils numériques sont, à leurs origines, issus, en quelques sortes, d'un seul matériau : l'électricité.

13 de la découverte de l'électricité au monde numérique nouvelles matérialités architecturales

S'il a mis du temps à la définir, l'homme a toujours su qu'il était entouré d'énergie électrique. Une énergie qui se manifestait par l'effet du magnétisme, de l'électricité statique et dans la foudre. Il lui a fallu du temps pour parvenir à l'identifier, à la comprendre, à la contrôler, à la créer et à l'utiliser.

de l'ambre à l'ordinateur

Le phénomène d'électrisation a été découvert par le philosophe et savant grec Thaïes de Milet, au 6^{ème} siècle avant J-C : il avait observé qu'un morceau d'ambre frotté énergiquement acquérait la propriété d'attirer de petits corps légers, telles des billes de moelle de sureau. Par la suite, on découvrit d'autres substances présentant des propriétés analogues, et la force mystérieuse qui se manifestait. C'est par Aristote et Hippias que nous apprenons qu'il « communiquait la vie » aux choses inanimées au moyen de l'ambre jaune désigné sous le terme grec « ἤλεκτρον », « êlektron », transcrit par le latin « electrum » et qui est à l'origine du mot électricité. Ainsi, dès sa naissance, l'électricité s'entoure de mystère par sa capacité à communiquer la vie aux êtres inanimés. L'électrisation d'un corps peut être obtenue de trois manières : par frottement, par contact avec un corps déjà électrisé et par phénomène d'influence en l'approchant suffisamment d'un corps lui aussi électrisé. La science des phénomènes d'électrisation est l'électrostatique, fondée sur la loi de Coulomb (1785).

600 avant J-C, l'histoire débute sur les bords de la mer Egée, il y a 2600 ans. Le philosophe mathématicien Thalès de Milet (celui du fameux théorème) observe que l'ambre, lorsqu'il est frotté avec un tissu, attire les poussières en suspension dans l'air. Thalès pense qu'un souffle de vie anime cet étrange caillou jaune. Pour les philosophes grecs, en effet, le vent est non seulement le moteur de la vie, mais il explique aussi tous les mouvements de l'Univers : la course du Soleil comme l'alternance des saisons, le galop du cheval comme le vol de l'aigle. Les surprenantes propriétés de l'ambre ne sont qu'un cas particulier de ce principe général.



Pendant 2000 ans, l'étrange pouvoir d'attraction de l'ambre n'intéresse plus grand monde. Les investigations reprennent à la fin du 16^{ème} siècle avec le médecin personnel de la reine Elisabeth 1^{ère}, William Gilbert. Notre homme découvre que d'autres matériaux tels que le verre, le diamant ou l'alun attirent eux aussi, lorsqu'ils sont frottés, les plumes, la paille et la poussière notamment. Gilbert nomme cette force d'attraction à distance « électricité », d'après le mot grec « êlektron », qui veut dire ambre jaune.

Dans la seconde moitié du 17^{ème} siècle, des sociétés savantes se créent un peu partout en Europe. A Londres, la Royal Society organise, pour un public curieux, des séances de physique amusante. Un certain Francis Hauksbee, fabricant d'instruments scientifiques, est nommé en 1703 au poste de démonstrateur. Il découvre qu'une boule de verre émet de la lumière et attire les objets légers lorsqu'elle est mise en rotation et frottée. L'attraction est alors si forte que les poils se dressent au voisinage du verre ! Voilà une expérience qui va plaire ! Pour la rendre plus spectaculaire encore, Hauksbee construit une machine où la boule de verre est entraînée à grande vitesse à l'aide d'une manivelle et d'un disque démultiplicateur : c'est le premier générateur d'électricité.

En 1729, un spectateur attentif assiste aux démonstrations de Hauksbee, Stephen Gray. Ce teinturier passe des heures à tester les propriétés électriques de différents matériaux. Avec les métaux, il essuie échec sur échec. Il a beau les frotter avec la dernière énergie, ils refusent obstinément d'attirer les objets. En revanche, un morceau de fer appliqué sur la machine de Hauksbee s'électrifie instantanément. Le « fluide électrique » peut donc se transmettre. Et même assez loin : Gray parvient à électriser une boule d'ivoire à 250 mètres de distance à l'aide d'une corde de chanvre. Une seule condition pour réussir : choisir les bons matériaux. Car si les métaux, l'eau et le corps humain conduisent bien l'électricité, par exemple, d'autres (le verre, l'huile ou la résine), au contraire, ne la laissent pas passer. Seuls ces derniers, remarque Gray, peuvent être électrisés par frottement.

En tant que chimiste adjoint à l'Académie des sciences de Paris, Charles Du Fay a vu des travaux de Gray. Pressentant que les phénomènes électriques sont un domaine de recherche prometteur, Du Fay se lance, à partir de 1733, dans une série d'expériences. Il montre d'abord que les métaux peuvent être aussi électrisés par frottement, à condition de les placer sur un support qui les isole de la terre. Mais, surtout, Du Fay découvre deux sortes d'électricité. Lorsqu'il laisse tomber une feuille d'or très légère sur un tube de verre qu'il a préalablement frotté, celle-ci rebondit sur le tube pour se stabiliser en l'air à 15 centimètres de distance. S'il approche un bâton de résine, la feuille est attirée et se colle aussitôt à son extrémité. Ces deux électricités, qu'il qualifie de « vitrée » et « résineuse » s'attirent l'une l'autre, mais se repoussent lorsqu'elles sont identiques.

En 1745, dans la bonne société de l'époque, les expériences scientifiques sont une source inépuisable de divertissement : en se faisant électriser, un marquis peut mettre le feu à une cuillère d'alcool avec son doigt ou, plus rigolo encore, tuer une mouche en un éclair. Chacun veut tâter de l'électricité. Dans la ville hollandaise de Leyde, un respectable magistrat, Andreas Cuneus, s'amuse à charger une bouteille remplie d'eau avec une machine de Hauksbee. Il a l'imprudence de poser les doigts sur la tige

métallique qui a servi à électriser le récipient. Horreur ! Il est soudain cloué au sol par une violente douleur qui lui secoue affreusement le corps.

Un ami de Cuneus, le professeur Petrus Van Musschenbroek, a l'audace de refaire, en 1747, l'expérience et en ressortira traumatisé. A Paris, la bouteille de Leyde suscite immédiatement la curiosité de l'Abbé Nollet, une des sommités scientifiques de l'époque. Et pour cause : la bouteille semble accumuler et conserver le fluide électrique plusieurs jours durant. La raison n'est pas connue. La nature même du « fluide » est énigmatique. Nollet, comme Gilbert et Gray avant lui, pense que des effluves invisibles se déversent des objets électrisés. Ils seraient responsables des phénomènes de répulsion entre les corps. La force d'attraction, quant à elle, serait due à de l'air qui pénètre dans les objets électrisés et les recharge ainsi en effluves répulsifs.

L'interprétation exacte de l'expérience de Cuneus et Musschenbroek, en 1749, sera donnée par un imprimeur américain, Benjamin Franklin. Entre temps, en effet, la bouteille de Leyde a franchi l'Atlantique et remporte là-bas le même succès qu'en Europe. Franklin pense qu'il y a, à l'intérieur de la bouteille, un trop plein d'électricité qui, à travers le verre, repousse le fluide électrique à l'extérieur du récipient. Arbitrairement, il symbolise ce déséquilibre, avec un signe + pour l'extérieur de la bouteille et un signe - pour l'intérieur. Lorsqu'on pose la main sur la tige métallique, on crée une passerelle. Le trop plein de fluide électrique se propage dans le corps humain pour aller compenser le déficit à l'extérieur de la bouteille. Ce transfert de fluide s'accompagne d'une secousse très douloureuse. Les explications de Franklin ne lui vaudront que quolibets.

Cette même année, le savant américain adresse une lettre à la Royal Society de Londres dans laquelle il assimile la foudre à une décharge électrique. Cette lettre ne suscite que les rires des physiciens britanniques mais Franklin ne va pas tarder à prendre sa revanche.

Pour prouver que la foudre est bien une décharge électrique entre le ciel et la terre, il propose de capter, avec une longue pointe métallique, l'électricité qu'il suppose emplir l'atmosphère les jours d'orage. Son idée ne rencontre que scepticisme en Angleterre, mais en France, elle est mise à exécution par un physicien amateur, Thomas Dalibard. L'homme plante dans sa propriété de Marly une tige de fer de 13 mètres de haut. Elle est isolée du sol par une planche de bois, qui repose elle-même sur quatre bouteilles de verre. Le 10 Mai 1752, l'orage gronde sur Marly. Courageux mais pas téméraire, Dalibard demande à un de ses gardes d'approcher une bouteille de Leyde de la tige métallique. Un éclair jaillit. Benjamin Franklin avait vu juste.

En 1780, dès lors, il devient possible, comme le suggère Franklin, de protéger les habitations de la foudre avec une pointe métallique reliée à la terre. Bientôt, les châteaux et les bâtiments publics se hérissent de paratonnerre. Ce succès conduit les physiciens européens à prendre les idées du savant américain un peu plus au sérieux. A la fin du 18^{ème} siècle, il est clair qu'il existe deux types d'électricité, une positive et une négative, selon la classification du savant américain. Les corps de même charge ont la propriété de se repousser, alors que ceux de charge opposée s'attirent. Il est

manifeste, par ailleurs, que ces forces d'attraction et de répulsion sont d'autant plus grandes que la distance qui sépare les objets électrisés est faible. Tout cela, cependant, reste bien vague. Et les physiciens commencent à réfléchir à un appareil qui permettrait de mesurer avec précision la force électrique avec l'espoir, peut-être, de dégager une loi mathématique comme l'a fait Newton un siècle auparavant avec la loi de la gravitation universelle.

Entre 1780 et 1785, plusieurs électromètres seront mis au point. Certains évaluent la chaleur émise par une décharge électrique, d'autres estiment la longueur de l'étincelle. Mais ces mesures ne donnent qu'une valeur grossière des forces mises en jeu. Un académicien français, Charles Augustin de Coulomb conçoit, en 1785, une balance où la force de répulsion entre deux billes porteuses de la même charge est mesurée par la torsion, plus ou moins grande d'un fil métallique. Grâce à ce dispositif, Coulomb démontre que la force entre deux objets électrisés diminue comme le carré de la distance qui les sépare. Autrement dit, si cette distance est multipliée par deux, la force électrique devient quatre fois plus faible.

L'année suivante, pendant que Coulomb cherche à mesurer la force électrique, un certain Luigi Galvani, en Italie, étudie le système nerveux des grenouilles. Le balcon de son laboratoire témoigne de sa passion : le médecin y suspend, à l'extrémité de fils de cuivre, des cuisses de batracien disséquées. Un jour venteux de 1786, Galvani, stupéfait, observe une jambe de grenouille bouger toute seule ! Les mouvements se produisent à chaque fois que la cuisse vient heurter les barreaux de fer du balcon. Lorsque la cuisse de la grenouille touche le barreau de fer, il se crée, pense-t-il, un circuit semblable à celui de la bouteille de Leyde. L'électricité se décharge dans le barreau de fer et provoque en même temps la contraction de la patte du batracien.



Un autre savant italien, Alessandro Volta, ne partage pas du tout les convictions de Galvani. Pour lui, il n'y a pas la moindre électricité dans une grenouille. Volta considère que c'est le contact entre les deux métaux (le crochet en cuivre et le barreau en fer) qui génère le fluide électrique. Le corps du batracien ne sert qu'à transmettre l'électricité et à la mettre en évidence lorsque la patte se contracte. Pour prouver ce qu'il avance, le physicien empile, en 1799, des disques de cuivre et de zinc. Les deux métaux sont séparés par des rondelles de carton humide qui sont censées jouer le rôle conducteur de la grenouille. Bingo ! En plaçant ses mains aux deux extrémités de la pile de disques, Volta ressent une secousse électrique caractéristique. Mais il y a mieux : tant qu'il garde les mains sur l'empilement de disques, la secousse persiste.

Dès lors, les recherches s'intensifient pour produire un courant électrique à la fois plus intense et plus régulier. En 1822, Thomas Seebeck invente la pile thermoélectrique : un simple anneau composé pour moitié de bismuth et pour moitié de cuivre. Lorsque le savant chauffe le point de contact entre les deux métaux, un courant électrique apparaît dans

l'anneau. Un autre physicien allemand, Georg Simon Ohm, se servira de cette nouvelle pile pour démontrer que l'intensité d'un courant dans un fil métallique dépend de la tension (créée par la différence de charge électrique accumulée aux deux extrémités), de la nature du métal qui constitue le fil et de son diamètre. Avec la pile de Volta, les physiciens disposent, en 1827, d'un appareil qui génère en continu du fluide électrique.

L'électricité ne serait-elle pas plutôt un flux de particules chargées, comme supposait déjà Benjamin Franklin ? Une avancée décisive se produit en 1897. En étudiant les décharges électriques entre les deux électrodes placées dans un tube sous vide, le Britannique Joseph Thomson détecte de minuscules grains de matière, de charge négative, qui seront nommés « électrons ». Quinze ans plus tard, il est devenu clair que les électrons, négatifs, de Thomson et le noyau, positif, sont les deux constituants essentiels des atomes.

Reste à prouver que ce sont aussi des électrons qui se déplacent dans les fils électriques. Ce sera fait en 1916 avec la belle expérience de Richard Tolman : le physicien américain fait tourner à grande vitesse un tube métallique puis le stoppe brutalement. Il enregistre alors pendant un bref instant un courant électrique. Tolman démontre, par le calcul, que les charges qui circulent dans le tube ont exactement la masse des électrons. La rotation rapide les a littéralement arrachés des atomes de métal autour desquels ils gravitaient. Lorsque la rotation cesse, les électrons continuent sur leur lancée de tourner un court moment dans le tube. L'électricité était enfin comprise.

C'est en 1937 que Claude Shannon, alors jeune étudiant en ingénierie électrique au Massachusetts Institute of Technology (MIT), démontre dans sa thèse de master, « A Symbolic Analysis of Switching and Relay Circuits »

(Analyse symbolique des circuits de communication et de relais), comment l'arithmétique utilisée pour encoder des opérations logiques en mathématique peut aussi être utilisée pour décrire le comportement de circuits électriques munis de relais. Cette découverte suggère pour la première fois la manière dont les systèmes complexes de signaux électriques, les machines numériques, pourraient être fabriqués afin de reproduire les opérations logiques de la pensée humaine.

De 1938 à 1940, Richard Buckminster Fuller, ingénieur autodidacte, travaille comme conseiller scientifique et technologique pour le magazine Fortune. Il est chargé de rédiger des articles et de préparer des graphiques sur la dynamique des processus industriels et économiques tels que la production d'énergie, l'expansion du savoir, ainsi que la distribution et le partage des ressources mondiales.



Norbert Wiener, professeur de mathématiques au MIT en 1940, étudie avec un jeune ingénieur, Julian H. Bigelow, la possibilité de développer des télémètres automatiques destinés aux canons antiaériens. En travaillant à la mise au point de « servomécanismes », dispositifs pouvant anticiper correctement la trajectoire d'un avion en tenant compte des éléments des trajectoires passées, Wiener et Bigelow sont surpris par le comportement apparemment intelligent de ces machines qui utilisent l'expérience, les résultats des événements passés et présents, pour déterminer de futurs événements en temps réel. Ils découvrent que le fait de contrôler une action dans un but déterminé requiert un « input » d'information qui forme « une boucle fermée permettant l'évaluation des effets de ses propres actions et l'adaptation de sa conduite à venir basée sur les performances passées », c'est-à-dire une boucle de « feedback » dans laquelle l'information sur les performances passées est utilisée pour déterminer l'action en cours, qui est ensuite, à son tour, réintroduite comme information de base pour les actions suivantes.

Mais Wiener et Bigelow sont aussi intrigués par un défaut de performance récurrent, une sorte de maladie de la machine. En effet, si l'on introduit trop de « feedback » dans le « servomécanisme », le système entre alors rapidement dans une série d'oscillations incontrôlables. Arturo Rosenblueth, neurophysiologiste enseignant à la Harvard Medical School, révèle à Wiener que l'on rencontre chez l'être humain une maladie similaire, appelée « tremblement intentionnel » : certaines lésions du cervelet rendent le cerveau incapable de déterminer correctement les réponses musculaires basées sur l'« input » visuel, c'est-à-dire que les mouvements d'un patient qui tente d'approcher un verre d'eau de ses lèvres subissent une telle amplification que le contenu du verre peut bien finir par se répandre sur le sol. Ainsi, la même boucle de feedback que l'on trouve dans l'éguidage du canon antiaérien est aussi caractéristique du système nerveux humain, lorsque celui-ci ordonne aux muscles de faire un mouvement dont les effets sont ensuite détectés par les sens puis renvoyés vers le cerveau. Cette relation entre les processus de contrôle chez les humains et dans les machines entraîne immédiatement Wiener, Bigelow et Rosenblueth à généraliser leur découverte en termes d'organisme humain, et à mettre en place des équipes interdisciplinaires pour étudier les organismes vivants du point de vue des ingénieurs en servomécanismes et, inversement, à considérer les processus des machines à l'aune de l'expérience des physiologistes.

Les travaux de Norbert Wiener, Bigelow et Rosenblueth sont tout d'abord portés à la connaissance d'autres spécialistes en 1942 au cours d'une réunion privée organisée à New York par la Josiah Macy Foundation. Parmi les participants se trouve le neurophysiologiste Warren Mc Culloch, directeur du Neuropathic Institute à l'université de l'Illinois, qui a été en contact avec Wiener et Bigelow à propos de la nature mathématique des réseaux nerveux du cerveau humain. Le succès de ce séminaire quant à la mise en rapport de divers domaines de recherche incite la fondation à organiser une série complète de dix conférences pour étendre ce domaine d'activité émergent à de nouvelles disciplines telles que la sociologie, les sciences politiques, la psychiatrie, l'anthropologie et l'économie.

En 1943, le modèle de contrôle des processus dans les machines et le système nerveux humain de Wiener, Bigelow et Rosenblueth est publié pour la première fois. Parallèlement, Warren Mc Culloch et le logicien Walter Pitts publient le premier

document décrivant le cerveau humain sous la forme d'un réseau neuronal. Il S'agit, selon eux, d'un système semblable à un circuit comportant des « interrupteurs » binaires (les nerfs) et des « circuits » (les connexions) au travers desquels sont envoyés les instructions et le « feedback » (les transmissions synaptiques). Les auteurs démontrent que de tels réseaux neuronaux sont capables de s'adapter et de se réorganiser eux-mêmes, de telle manière que lorsqu'une connexion dans une partie du cerveau est endommagée, ses fonctions passent automatiquement à une autre partie du cerveau.

Norbert Wiener, Bigelow, Mc Culloch, Pitts et d'autres constituent la Teleological Society en 1944. Il S'agit d'une association de scientifiques en ingénierie, informatique et neurophysiologie qui a pour but l'exploration de la relation entre « l'ingénierie des dispositifs de contrôle » et « les aspects de communication et de contrôle du système nerveux ».

C'est en 1945 qu'apparaît de l'ENIAC, Electronic Numerical Integrator And Calculator (calculateur et intégrateur électronique numérique), la première version de l'instrument qui permettra d'approcher pour la première fois la complexité organisée. Extraordinairement plus rapide que les calculateurs mécaniques-il peut effectuer une addition en 1/500^{ème} de seconde, l'ENIAC fonctionne sur la base de configurations spécifiques de circuits qui doivent être contrôlés manuellement à l'aide d'un clavier. L'un de ses créateurs, le mathématicien John Von Neumann, envisage la possibilité d'une machine à tous usages qui pourrait être programmée pour effectuer différentes tâches, en se basant sur des instructions stockées en mémoire ; il s'agirait de l'extension d'une machine uniquement conçue pour calculer des trajectoires d'obus à une machine « universelle » pouvant assumer des tâches plus proches des processus de la pensée humaine.

Après avoir étudié les projections géométriques améliorées de la surface de la terre sur des cartes à deux dimensions, Buckminster Fuller crée, en 1946, la Fuller Research Foundation afin d'entreprendre des recherches sur les « systèmes géométriques énergétiques », c'est-à-dire les principes géométriques des structures physiques et le flux des forces énergétiques qui les traversent. Cette année-là est aussi celle de la première d'une série de dix conférences organisées par la fondation Josiah Macy, sous la présidence de Warren Mc Culloch. Ces rencontres S'imposent rapidement comme l'un des premiers ponts jetés entre la recherche émergente en biologie, en neurobiologie et en mathématiques, la recherche technologique sur les ordinateurs numériques et l'ingénierie de la communication, ainsi que les sciences sociales et du comportement telles que la sociologie, les sciences politiques, l'anthropologie et l'économie.

Le premier ouvrage de Norbert Wiener, paru en 1948, donne un nom, « cybernétique », à cette étude interdisciplinaire nouvelle sur la communication et sur les processus de contrôle dans les systèmes mécaniques et biologiques. Wiener invente le terme basé sur le mot grec « kubernetes », signifiant timonier ou pilote, et dont le mot gouverneur est aussi dérivé-pour exprimer l'idée fondamentale des processus de contrôle comme étant « l'art de gérer et de diriger des systèmes hautement complexes ».

Pendant ce temps, un article de Claude Shannon, « A Mathematical Theory of Communication » (Théorie mathématique de la communication), définit formellement pour la première fois l'idée d'information. En outre, il établit les principes mathématiques de la manière dont celle-ci est communiquée, en reliant son encodage et sa transmission aux principes du transfert d'énergie en physique ainsi qu'aux opérations logiques en mathématiques. Parallèlement au travail de Wiener, la recherche de Shannon inaugure et pose ainsi les fondements mathématiques de la nouvelle discipline de la théorie de l'information.



Au même moment, Buckminster Fuller, alors professeur invité au Black Mountain College, développe sa recherche sur les structures géométriques énergétiques avec des étudiants et des collègues tels que le compositeur John Cage,

l'artiste Josef Albers et la danseuse Merce Cunningham. Inspiré par ses conférences, un étudiant, Kenneth Snelson, fabrique une sculpture faite d'éléments de contreplaqué et d'étais de nylon dont la distribution de contrainte de tension continue entre les éléments suspendus en compression mène à la découverte de l'« intégrité de tension multipolaire », c'est-à-dire le principe de la « tenségrité » permettant de formaliser une structure tridimensionnelle auto-stable grâce au jeu des forces de tension et de compression qui s'y répartissent et s'y équilibrent. Dans celle-ci, en effet, les organisations matérielles ne sont plus considérées, comme statiques et compressives comme c'est le cas dans l'analyse structurelle traditionnelle, mais comme des réseaux organisés et maintenus en tension par le flux d'énergie entre des éléments qui ne se touchent jamais, tels des structures moléculaires ou des systèmes planétaires. L'incursion fondamentale de Fuller dans la nature des systèmes physiques préfigure le développement de structures matérielles « intelligentes », sans poids, organisées par un flux dynamique d'énergie et d'information.



En 1951, à Princeton, un étudiant en mathématiques, Marvin Minsky, effectue la première simulation par ordinateur d'un réseau neuronal de transmissions synaptiques dans le cerveau humain, le SNHRC, Stochastic Neural-Analog Reinforcement Computer (Ordinateur de renforcement stochastique neuro-analogique), dont la tâche consiste à apprendre à traverser un labyrinthe. Il est conçu comme un réseau câblé de manière aléatoire au travers duquel sont envoyés et reçus des signaux contrôlant la progression de la machine au travers du labyrinthe. En renforçant certains signaux

basés sur les capacités de l'ordinateur, celui-ci améliore graduellement son taux de succès. Marvin Minsky a ainsi créé le premier exemple de « machine à apprendre ».

Cette année-là, l'ordinateur « Whirlwind II », fabriqué au MIT, est le premier à utiliser un système à mémoire magnétique super puissant inventé par un jeune ingénieur électronicien du laboratoire des servomécanismes, Jay W. Forrester.

L'encodage de l'information a montré qu'il constituait l'un des mécanismes fondamentaux de la vie sur la Terre elle-même et les biologistes James Watson et Francis Crick, décryptent, en 1953, le code génétique de la structure en double hélice de l'ADN, fournissant ainsi un lien fondamental entre les processus des organisations matérielles à l'échelle moléculaire et Ceux des ordinateurs.

L'année suivante, le biologiste Ludwig von Bertalanffy, étendant les principes de la cybernétique à une théorie générale des systèmes qui pourrait s'appliquer aux systèmes sociaux et économiques, organise la Society for General Systems Research sur une base pluridisciplinaire. En effet, participent à cette société scientifique parmi d'autres spécialistes, des mathématiciens, des biophysiciens, des sociologues et des économistes.

En considérant les systèmes-tels que le corps humain-en termes d'organisation et d'interaction entre les éléments qui se connectent pour former un tout-plutôt qu'en réduisant les systèmes à la somme des propriétés de leurs parties individuelles-, il énonce que « de nouvelles propriétés peuvent apparaître et être acquises par les systèmes, ce qui entraîne une évolution continue » et que « les mêmes concepts et principes d'organisation sous-tendent les différentes disciplines-physique, biologie, technologie, sociologie, etc..., ce qui fournit une base pour leur unification ».

En 1956, l'ingénieur électronicien Jay W. Forrester, nommé professeur à la Sloan School of Management au MIT, fonde le System Dynamics Group afin d'étudier les processus industriels tels que les systèmes cybernétiques gouvernés par de multiples boucles de feedback. Claude Shannon et deux de ses étudiants, Marvin Minsky et John Mc Carthy, organisent une conférence à Dartmouth University pour discuter de la possibilité de concevoir des logiciels capables de simuler les processus de la cognition humaine : C'est donc l'inauguration du domaine de l'intelligence artificielle basée sur la fabrication d'ordinateurs pouvant reproduire les structures de traitement de l'information du cerveau humain.

Marvin Minsky et John McCarthy fondent, en 1959, l'Artificial Intelligence Project au MIT pour mettre en marche les premières tentatives d'étude de la simulation des processus de la pensée humaine grâce au traitement par ordinateur. Deux ans plus tard, le projet se transforme et devient l'Artificial Intelligence Laboratory.

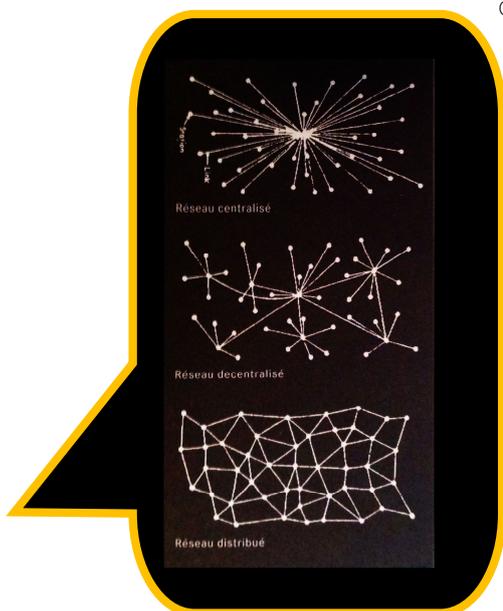
De 1960 à 1965, la première application directe de la cybernétique à l'architecture est mise au point : Cedric Price et une productrice de pièces de théâtre, Joan Littlewood, proposent d'organiser le « Fit17 Palace ». Il s'agit d'un complexe de loisirs et de

propositions d'auto-enseignement à géométrie variable. La conception de l'ensemble permet de le modifier en fonction de l'utilisation du moment. Il y a une surface de sol programmée et une armature verticale supportant des espaces occupés par un auditorium et une scène de théâtre, construits avec des murs et des sols déplaçables. Une grue située au-dessus de l'ensemble permet de transporter et d'assembler les parties afin de former de nouveaux espaces et de désarticuler les anciens. Le projet est supervisé par un comité de cybernéticiens animé par Gordon Pask, professeur à Brunel University. Buckminster Fuller en est l'un des membres.

Une communication de Leonard Kleinrock, « Information Flow in Large Communication Nets » (Le flux d'information dans les grands réseaux de communication), lui permet, en 1961, de théoriser une nouvelle méthode plus efficace pour la transmission de messages entre des points différents dans un réseau, que l'on appelle le « packet-switching ». Le système est basé sur la division des messages en petits " paquets " de données, envoyés au travers de connexions qui ne sont maintenues que pour la longueur de la transmission elle-même, plutôt que de maintenir une connexion continue entre deux points du réseau afin que ceux-ci communiquent. Chaque paquet peut prendre une voie différente pour se rendre de l'expéditeur au destinataire selon que les lignes sont bloquées ou redeviennent disponibles, puis il est réuni aux autres à son lieu de destination ; en d'autres termes, le flux d'information s'auto-organise plutôt qu'il ne suit une organisation hiérarchisée,

John Licklider devient, en 1962, directeur de l'Information Processing Techniques Office de l'ARPA, Advanced Research Projects Agency (Département des projets de recherche avancée), nouvel organisme créé pour financer la recherche en informatique de même que les technologies de l'information qui peuvent mener à des découvertes majeures en évitant les procédures de recherche standard du gouvernement. Son but est de redéfinir la manière dont les humains interagissent avec les ordinateurs, en recherchant des formes de démonstration interactive (les systèmes en vigueur sont basés sur des « inputs » et des « outputs » numériques imprimés), et en concevant des machines capables d'interagir en même temps avec de multiples utilisateurs.

L'ingénieur Paul Baran, chercheur au département de Recherche et Développement de la Rand Corporation publie, en 1964, une étude intitulée « On Distributed Communication ». Il s'agit d'un travail sur la commande et le contrôle en temps de guerre-tout particulièrement sur la manière de fabriquer un réseau souple et fiable basé sur des composants non fiables et qui serait capable de s'organiser lui-même en cas d'attaque nucléaire. Au lieu des structures centralisées et hiérarchisées, Baran explique les principes d'un réseau distribué basé sur de multiples itinéraires entre deux points dans le système, c'est-à-dire une structure remarquablement similaire aux réseaux neuronaux décrits par McCulloch et Pitts ainsi qu'aux « réseaux de communication » décrits par Kleinrock. De même que dans ce dernier cas, le système est basé sur le « packet-switching » : l'information parvenue dans le système est automatiquement re-routée si une voie est coupée, et la redondance des connexions assure que les messages soient malgré tout transmis effectivement même après qu'un nombre significatif de connexions ont été détruites.



La même année, Jay W. Forrester étend l'application de la cybernétique aux systèmes urbains avec son ouvrage « Urban Dynamics », qui tente de simuler et de prédire le comportement des villes en les considérant comme des systèmes complexes de croissance et de décadence dans le temps, avec de multiples variables et de multiples boucles de feedback qui déterminent la viabilité et la durabilité du système.

En 1966, Robert W. Taylor, troisième directeur de l'Information Processing Techniques Office à l'ARPA, propose de fabriquer le premier réseau permettant de connecter entre eux les ordinateurs de recherche de différents lieux des États-Unis. Larry Roberts, du MIT, est embauché pour concevoir ce réseau.

Le pavillon américain de l'exposition universelle de Montréal de 1967 est un dôme géodésique de 75 mètres de diamètre, conçu conjointement par Buckminster Fuller et Shoji Sadao, et basé sur le principe de la « tenségrité ». Le dôme est conçu comme un très grand système de contrôle environnemental, dans lequel le réglage permanent de l'ouverture et de la fermeture d'éléments triangulaires formant des ombres sur la surface du dôme est assuré par un programme d'ordinateur basé sur la position du soleil et la préservation du maximum de transparence visuelle. C'est ainsi que le dôme devient un réseau distribué de capteurs climatiques aussi bien que de forces structurelles, une sorte de peau adaptable, « intelligente », servant d'intermédiaire entre l'intérieur et l'extérieur. C'est aussi un énorme succès. Onze millions de personnes ont visité le dôme pendant les six mois qu'a duré l'exposition.

Le professeur et architecte Nicholas P. Negroponte fonde, en 1967, l'« Architecture Machine Group » au MIT. Il imagine un bâtiment hautement interactif qui pourrait fonctionner comme consultant de sa propre re-conception, entraînant ses propriétaires dans un dialogue permanent sur des thèmes tels que la ventilation, l'éclairage ou les écoulements.

Inspiré par les idées de Buckminster Fuller sur la compréhension de la Terre et de ses processus en tant que systèmes globaux-réseaux complexes, dynamiques d'interaction et de croissance, Steward Brand fonde, en 1968, le « Whole Earth Catalog », une encyclopédie de matériaux destinés à l'auto-enseignement que l'on peut acquérir par correspondance.

L'ARPANET, Advanced Research Projects Agency Network (Réseau du Département des projets de recherche avancée), mis en place en 1969, est le premier réseau d'information digitale qui relie quatre universités : l'université de Californie à Los Angeles (UCLA), l'Université de Stanford à proximité de San Francisco, l'université de Californie à Santa Barbara et l'université de l'Utah. Son architecture, conçue par Larry Roberts, est exactement le type de réseau théorisé par Kleinrock et Baran, c'est-à-dire un réseau distribué basé sur le « packer-switching », c'est-à-dire encore la première réalisation d'un tel système dans la pratique.



L'année qui suit, le groupe interdisciplinaire EAT, Experiment in Art and Technology (Expériences en art et en technologie), est consacré à l'exploration de la relation entre art et science et reçoit la commande de conception d'un environnement pour le pavillon Pepsi à l'Expo d'Osaka en 1970. Le choix est fait d'un dôme inspiré de l'Origami (art du

papier plié au Japon) similaire aux structures géodésiques de Fuller. En collaboration avec Thomas Mee, physicien des nuages, et Yasushi Mitsuta, météorologue, l'artiste Fujiko Nakaya crée le premier « fog building » (bâtiment de brouillard) mondial: deux mille cinq cent vingt buses (avec une pression d'eau de 500 psi) et neuf pompes entourent le pavillon d'un nuage d'eau pure allant jusqu'à 1,80 mètres d'épaisseur et 46 mètres de diamètre.

En 1971, ARPANET passe des quatre nœuds d'origine à quinze nœuds, et il relie pour la première fois les côtes américaines est et ouest. Jay W. Forrester publie la troisième version augmentée de ses idées sur les dynamiques de systèmes, *World Dynamics*, qui étudie les limites de la croissance mondiale et explore les voies du bénéfice équilibré à court terme par rapport à la durabilité à long terme dans les sociétés humaines.

Buckminster Fuller améliore, en 1972, sa première version du *World Game*, un jeu d'ordinateur énorme dont le but est d'optimiser les conditions de vie mondiales, avec un logiciel basé sur des données pour la distribution des ressources naturelles, de l'énergie, de la population, ainsi que des systèmes de transport et de communication. Proposé à l'origine pour le pavillon américain de l'Expo 67, le programme est basé sur une carte du monde interactive où les théories sur le partage des ressources et sur le développement peuvent être testées et leurs effets évalués. En d'autres termes, il s'agit d'une démonstration de dynamiques mondiales. Les premiers programmes de base pour la transmission et la gestion des messages de texte électroniques entre usagers, e-mail, sont écrits pour le système ARPANET ; il s'agit du SNGMSG et du READMAIL (par Ray Tomlinson de Bolt, Beranek et Newman) et du RD (par Larry Roberts de l'ARPA). Les concepteurs du réseau sont surpris de constater que le fait d'envoyer et de recevoir des messages de courrier électronique devient rapidement l'usage le plus important du réseau, phénomène qui prédit l'utilisation qui sera faite d'Internet vingt ans plus tard.

Robert Kahn et Vincent Cerf commencent, en 1973, à développer une structuration de l'architecture en réseaux, « Inter-networking Architecture », de niveau intermédiaire, qui doit permettre l'existence de réseaux multiples et indépendants (de diverses conceptions ou basés sur des technologies différentes) devant être reliés les uns aux autres. Appelé « Transmission Control Protocol », TCP (Protocole de contrôle de transmission), c'est le premier pas qui permet à ARPANET ainsi qu'aux autres réseaux

conçus pour des usages spécifiques d'être reliés entre eux dans un réseau de réseaux flexible, ouvert et largement répandu, c'est-à-dire un Internet.

Le ministère américain de la défense adopte, en 1980, le standard TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) afin de partager la base technologique sur ARPANET. En trois ans, l'accroissement continu du nombre d'utilisateurs entraîne l'éclatement du réseau en MILNET, pour l'usage militaire, et ARPANET, pour la recherche.

Pour régler la dramatique croissance des utilisateurs d'ARPANET et des réseaux similaires, le Domain Name System remplace, en 1984, le système d'adresses de courrier électronique numérique et propose un ensemble de sept catégories d'adresse : .edu, .gov, .com, .mil, .org, .net et .int.

Le futurologue Kevin Kelly reprend la publication des « Whole Earth Catalogs » et les rebaptise « Whole Earth Review ». Parallèlement, Kelly, Steward Brand (le fondateur du catalogue) et Larry Brilliant fondent ensemble la première communauté virtuelle d'utilisateurs publics d'ordinateurs « en ligne », le WELL (Whole Earth eLectronic Link).s

Nicholas P. Negroponte et Jerome Weiser fondent ensemble le « MIT Media Lab » en 1985. Les chimistes organiciens Richard Smalley et Harold Kroto analysent la structure des « grappes » constituées par les tiges vaporisant le carbone en utilisant un spectromètre de masse. Ils sont surpris de trouver un nombre inhabituellement important de grappes contenant exactement soixante atomes de carbone. Ceci est tout à fait étrange parce que tous les types connus de structures de carbone-matrices plates (graphite), cristaux en trois dimensions (diamant), et masses non structurées (charbon)- sont extensibles à l'infini, et rien ne semble pouvoir expliquer pourquoi elles devraient s'arrêter à soixante atomes. La solution réside dans la géométrie des dômes géodésiques comme celui qu'ils avaient vu dix-huit ans plus tôt à l'exposition de Montréal. Ils réalisent alors que ces grappes doivent être des cages sphériques d'atomes de carbone, avec une structure exactement identique à celle d'une sphère géodésique minimum ayant soixante points de connexion (ce qui est aussi la forme d'un ballon de football). Ils découvrent alors le « buckminsterfullerène » (C_{60}), ainsi nommé en l'honneur de leur inspirateur, la première d'une classe complètement nouvelle de structures de carbone fermées, en forme de cage, appelées fullerènes. En développant les possibilités de ces nouvelles structures, on parvient rapidement à un nouveau domaine, la nanotechnologie. Celle-ci permet de fabriquer des réseaux d'information à l'échelle moléculaire par la transmission chimique (plutôt qu'électronique) de messages au travers de tubes de carbone macroscopiques fabriqués par les fullerènes. L'émergence de la nanotechnologie ouvre un nouveau champ de recherche pour la conception de réseaux, les organisations matérielles « intelligentes » au niveau moléculaire.

La Tour des Vents de l'architecte Toyo Ito, construite à Yokohama, au Japon, en 1986, est la première tentative pour « convertir l'environnement en information » : il enveloppe, en effet, une tour de ventilation préexistante à l'aide d'un réseau de 21 mètres de hauteur fait de plaques d'aluminium perforé, de miroirs, d'anneaux de néon et de lampes, qui enregistre l'information de son environnement et modifie son apparence en

fonction des variations des flux d'air et de sons. C'est une sorte de boucle de feedback architecturale qui absorbe l'information sonore et physique et la retransmet sous forme d'information visuelle.

Quatre ans plus tard, Tim Berners-Lee, chercheur en informatique au CERN (Centre Européen pour la Recherche Nucléaire) de Genève, met en place un système d'hypertexte afin de fournir un accès efficace à l'information pour les membres de la communauté internationale de la physique de haute énergie. Le réseau d'information a déjà 300 000 visiteurs.

Le CERN déploie, en 1992, officiellement le « World Wide Web », la toile. Le réseau passe à 136 000 visiteurs. L'année suivante Mosaic, le premier logiciel de navigation sur le web qui permet de rechercher et d'avoir facilement accès aux contenus d'Internet, met pour la première fois Internet à la portée du grand public. L'année est aussi marquée par la sortie du premier numéro de Wired, le premier magazine consacré aux implications culturelles des technologies numériques de l'information. Kevin Kelly en est l'éditeur-fondateur.

Le MIT Media Lab entame, en 1995, le projet de consortium industriel « Things that Think ». Ce projet a pour but d'intégrer l'informatique dans les objets communs qui nous entourent et qui ne sont ni des ordinateurs ni des dispositifs de télécommunication ; ceci, afin de créer des environnements matériels réactifs et intelligents. On demande à Neil Gershenfeld, professeur de physique au Media Lab, de le diriger. Kevin Kelly publie son ouvrage « Out of Control » sur Internet (<http://kk.org/mt-files/books-mt/ooc-mf.pdf>). Entre autres thèmes, il décrit une écologie des machines émergentes : des environnements futurs dans lesquels tous les dispositifs sont des organismes capables de réagir aux « stimuli » et de communiquer avec d'autres machines ainsi qu'avec les humains. Internet atteint le niveau des 6650000 visiteurs.

L'ingénieur Mutsuro Sasaki, consultant habituel en matière de structures et collaborateur de Toyo Ito, reçoit un fax avec un croquis surprenant qui ressemble à une algue flottant entre deux eaux. C'est la façade de la médiathèque de Sendai qui est proposée au concours : des tubes en spirale qui permettent aux forces structurelles de se déplacer verticalement au travers des plaques de plancher, parallèlement au flux d'information qui se déplace au travers des réseaux informatiques, constituent le programme du bâtiment.

En 1997, l'ordinateur conçu par IBM, Deep Blue, bat Garry Kasparov, champion du monde d'échecs, par 3,5 à 2,5, dans un match en six manches. Les échecs sont considérés comme étant le meilleur test quant aux progrès de l'« intelligence » informatique depuis les





débuts de la technologie numérique. Conçu à l'origine par John Von Neumann et ses collaborateurs comme une extension du cerveau humain, cet ordinateur a inauguré une ère dans laquelle l'intelligence informatique sera de plus en plus capable d'entrer en compétition directe avec celle des hommes.

En tant que membres d'une équipe en compétition pour la conception de l'Expo 2001 sur le lac de Neufchâtel, en Suisse, qui est basée sur le thème du design immatériel, Diller et Scofidio commencent, dès 1998, à travailler sur une idée radicale : il s'agit d'un pavillon media construit autour de « rien », c'est-à-dire qu'il est fabriqué avec les éléments du lac sur lequel il doit se tenir : l'air et l'eau. L'idée entraîne immédiatement leur recherche dans deux directions : l'organisation matérielle de la structure du pavillon, d'une part, et la conception du nuage d'air et d'eau qui constituera son « architecture » visible, de l'autre. Grâce à l'aide des ingénieurs Passera et Pedretti, la structure du pavillon se développe comme un système de « tenségrité » suspendu. Pour concevoir le nuage de brouillard, Diller et Scofidio entament une collaboration avec Fujiko Nakaya (en tant que consultant) et Thomas Mee Industries (en tant que fournisseurs d'équipements), l'équipe responsable du nuage de brouillard du pavillon d'Osaka à l'exposition de 1970.



Les premières machines plus orientées grand public vont commencer à apparaître vers 1977 notamment grâce à leur programmation facile en langage « Basic ». En effet, jusque-là, les ordinateurs étaient réservés à une élite du à leur complexité d'utilisation et leur taille. Ne cessant d'évoluer, certaines observent un immense succès commercial, d'autres, malgré leur puissance, connaissent des échecs dus à leur prix trop élevé, comme le DAI en 1977, qui était très en avance sur son temps mais dont le prix trop élevé lui a empêché de connaître le succès.

Août 1980 est une date historique : un scientifique du DARPA, Vinton Cerf, propose un plan d'interconnexion entre les réseaux CSNET et ARPANET. C'est le point de départ du réseau Internet tel que nous le connaissons aujourd'hui. En effet, avant cette interconnexion, il existait plusieurs petits réseaux (comme ARPANET), mais chacun indépendant entre eux et non reliés. C'est Internet qui va lancer ce ralliement entre réseaux et démarrer celui que nous avons aujourd'hui.

Cette même année, Tim Patterson, de la société Seattle Computer Products, crée QDOS, système d'exploitation en lignes de commandes. Il sera présenté sous le nom de 86-DOS à Microsoft, qui à l'époque cherchait en urgence un système d'exploitation pour équiper des micro-ordinateurs afin de satisfaire la demande d'IBM. Microsoft achète les droits de 86-DOS à Tim Patterson. Plus tard, Microsoft se basera dessus pour sortir son propre système d'exploitation, le MS-DOS.

L'année 1981 marque l'apparition des premiers ordinateurs dans les maisons. En effet la micro devient de plus en plus familiale et grand public, toujours grâce au BASIC. Au moins d'août de cette même année, 213 machines sont connectées à Internet. Ce nombre atteindra 235 en mai 1982. Ce même mois, Microsoft commercialise MS-DOS 1.1 pour les ordinateurs IBM PC et également une version 1.25 pour compatibles PC. Au même moment, Sony présente le lecteur de disquette 3,5 pouces, celui que nous connaissons aujourd'hui. Cela va inaugurer une nouvelle génération de disquettes, plus petites et de plus grande capacité.

En août 1983, l'extension C++ du célèbre langage de programmation C est créée. C'est une amélioration du langage le rendant encore plus puissant.

Le 24 janvier 1984, L'Apple Macintosh est présenté au public par Steve Jobs. Cette machine est dotée d'une interface graphique, d'une souris, un écran noir et blanc et un lecteur de disquette 3,5 pouces, remporte un très grand succès.

En Mai 1985, Microsoft présente Windows 1.0, sa première interface graphique destinée à faire face à celle d'Apple et annonce sa vente au prix de 95\$ pour le mois de Juin. Ce n'est qu'en Novembre 1985 que la société mettra Windows 1.0 sur le marché. Malheureusement, Windows 1.0 sera un échec et ne plaira pas au public. La version 2, sortie en 1987 connaîtra le même échec. Ce n'est qu'avec Windows 3.0 lancé en 1990 que Microsoft connaîtra les débuts de son succès.

A partir de là, l'informatique et Internet ne cessent d'évoluer, C'est une véritable explosion. Le nombre de machines connectées à Internet augmente très rapidement et à une vitesse impressionnante, Internet lui-même évolue, les vitesses de connexion augmentant grâce à des modems de plus en plus performants. Internet rentre dans les foyers, les ordinateurs deviennent de plus en plus simples à être utilisés.

L'ADSL, introduisant l'Internet à haut débit et pouvant être utilisée sans mobiliser le téléphone, qui va commencer à s'imposer à la fin des années 1990, ou elle connaît sa "préhistoire" puis à partir de l'an 2000 ou elle devient de plus en plus utilisée, peu coûteuse et populaire. Aujourd'hui, l'ADSL conquiert les foyers et de très nombreux fournisseurs d'accès proposent les uns les autres des offres rendant un choix pas toujours facile. Néanmoins, beaucoup d'endroits sont encore dépourvus de cette connexion à haut débit. Actuellement, la fibre optique se développe permettant d'aller jusqu'à un débit de 100 Mégabits par seconde.

En 1991, se fait l'arrivée d'un nouveau système d'exploitation libre, gratuit et open-source, Linux. Son initiateur, Linus Torvalds, dont le nom et celui d'Unix mélangés ont servis à l'invention de celui de ce nouveau système (basé au départ sur le principe d'Unix), est un étudiant finlandais de

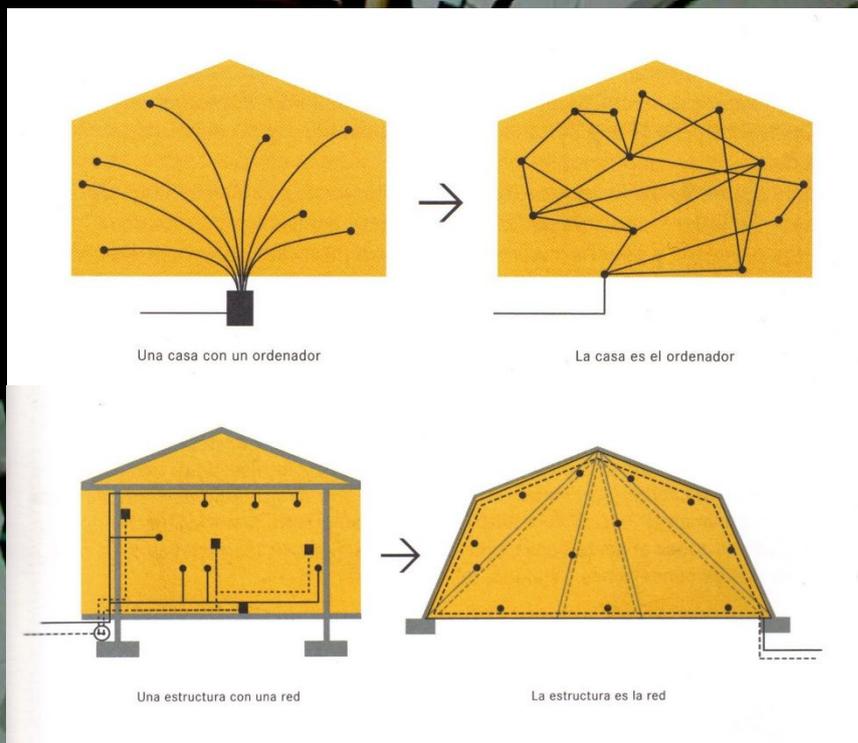


l'université d'Helsinki. Ce système d'exploitation est devenu de plus en plus populaire au fil des années tout en s'améliorant et en se divisant en plusieurs distributions (comme Ubuntu, Mandriva, Knoppix, etc...) chacune visant plus ou moins un type d'utilisateur particulier. Il s'impose aujourd'hui comme la référence en matière de système d'exploitation libre, gratuit et open-source, rivalisant avec Windows de Microsoft, quant à lui payant mais plus accessible.

Du côté des ordinateurs, leur puissance ne cesse d'augmenter et subit également une véritable explosion à la fin des années 1990 : ils augmentent en puissance, en capacité de mémoire, en technologies de façon impressionnante, tout en devenant de plus en plus petits et légers. Ce sont les débuts des nanotechnologies et des biotechnologies.

L'Artificial Intelligence Lab du MIT construit « The Intelligent Room », en 1999, le premier environnement interactif hautement intégré. L'architecture logique de ce bâtiment repose sur deux idées clés. Tout d'abord, le fait que la connectivité d'Internet doit être étendue aux éléments les plus rudimentaires du bâtiment, plutôt que d'être transmise par des appareils intermédiaires. En second lieu, que chacun de ces éléments doit contenir suffisamment de données et d'avoir une capacité de traitement suffisante pour lui permettre d'exécuter et de reprogrammer localement ses fonctions sans avoir besoin d'un autre ordinateur. Ces deux idées découlent de l'intérêt pour la variabilité.

Comme l'a dit Jeremy Rifkin, aujourd'hui, avec Internet et les énergies renouvelables, nous sommes à l'aube d'une troisième révolution industrielle marquée par la démocratisation totale des communications et de l'énergie. Deux systèmes décentralisés et collaboratifs, régis par une logique de croissance non plus verticale et hiérarchisée, mais latérale. Le nouveau paradigme est celui de l'économie distribuée, où l'entrepreneuriat est à la portée de chacun. L'impression 3D nous laisse imaginer ce que sera l'appareil de production décentralisé du 21^{ème} siècle. Cela va remettre en cause profondément l'ordre établi capitaliste hypercentralisé du siècle dernier.



2

**nouvelles
matérialités,
nouvelles
expériences**

2₁ la matérialité numérique **ville intelligente, électronique, robotique**

des territoires plus intelligents

Derrière le terme ville intelligente se cachent les défis complexes qui se posent aux agglomérations d'aujourd'hui : améliorer la qualité de vie de leurs habitants dans un contexte de compétition croissante entre cités, et de recherche de compétitivité. L'attractivité des villes s'inscrit dans des enjeux économiques et sociétaux qu'il faut concilier avec les défis environnementaux, réclamés par les citoyens.

Les formidables opportunités offertes par les technologies numériques ouvrent des perspectives séduisantes. Les limites sont désormais repoussées et font apparaître un nouvel écosystème connecté, dans lequel foisonnent des initiatives. Mais au-delà de rationaliser des moyens techniques, il faut susciter l'adhésion des usagers et réussir à coordonner toutes les initiatives dans une démarche cohérente, conforme au positionnement et aux orientations choisis par les décideurs.

Maîtriser les nouvelles technologies et les nouveaux services, ainsi que les changements associés, travailler avec de fortes contraintes financières, ou bien encore respecter des cadres réglementaires complexes et évolutifs suppose de définir des axes cohérents, clairs, dans lesquels la rupture est contrôlée et adoptée par les parties prenantes, à commencer par les habitants. Urbaniser la ville de demain s'organise. Il n'existe pas de solution unique, et il faut donc bâtir une stratégie adaptée et trouver comment piloter les innovations.

Les objectifs de la ville intelligente se situent dans le prolongement de ceux de la ville durable, et auront pour caractéristiques essentielles de répondre à un objectif de sobriété dans l'utilisation des ressources, mettre l'utilisateur au cœur des dispositifs et permettre une approche systémique de la ville.

Aujourd'hui nous utilisons des ressources limitées, nous gaspillons, et nous avons des difficultés à gérer les pics de consommation qui peuvent entraîner des risques de coupures d'énergies ou des périodes de stress hydrique sur certaines zones.

Les nouvelles fonctions que cherche à apporter cette nouvelle forme de ville sont, pour l'individu, de réguler lui-même sa consommation grâce à une meilleure information sur sa consommation en temps réel, et de réduire ces factures d'électricités et d'eau. Pour la collectivité, il s'agit de préserver et d'économiser des ressources limitées, de réguler offre et demande, de connaître les zones et les périodes de forte

consommation, de relevé de compteurs à distance et prévoir les consommations et de maintenir des volumes de sécurité des ressources.

Pour y parvenir, les solutions mises en place sont donc, en premier lieu, les « Smart-Grids » qui permettront optimisation de la gestion de l'énergie par une meilleure régulation de l'offre et la demande et l'intégration sur le réseau de distribution de la production locale d'énergies renouvelables. La possibilité d'obtenir des informations en temps réel de la consommation d'énergie est un réel argument ainsi que l'extension des systèmes de production locaux de l'énergie, afin de répartir le risque et éviter les blackouts généralisés.

L'intégration de cette solution pourrait être étendue au secteur des transports, l'essor des véhicules électriques pourrait générer des pics de demande d'électricité difficiles à gérer en l'état actuel de fonctionnement du réseau d'électricité. Un fonctionnement et une production locaux permettraient de piloter plus efficacement la recharge des véhicules électriques. Il est aussi nécessaire de construire des logements collectifs à énergie positive qui intégrant, dès leur conceptions des « Smart Water networks », c'est-à-dire des capteurs et compteurs intelligents gérant les informations sur l'état du réseau, la consommation, les ressources disponibles sur un modèle de gestion dynamique en temps réel.

des lieux plus intelligents

Les «Smart Buildings» issues des nouvelles règles architecturales imposées pour les opérateurs et gestionnaires publics auront pour effet de permettre une diminution des coûts et meilleure régulation de la consommation et l'augmentation du confort pour les individus. Pour la collectivité, ils contribueront aux objectifs d'économie d'énergie (réduction de l'empreinte énergétique), de réduire les coûts énergétiques, d'avoir une gestion plus souple, de donner aux territoires la possibilité d'un meilleur confort de vie plus attractivité et ainsi d'être plus attractif.

Cette nouvelle génération de bâtiment sera donc systématiquement équipée de réseaux de chaleur intégralement alimentés par les énergies renouvelables, de système de pilotage de la consommation énergétique via la Smart-Grid et d'ajustement des besoins énergétiques en fonction des activités permettant de faire basculer les flux d'énergie selon les heures des logements vers les bureaux et vice et versa. Une automatisation de toutes les fonctions du bâtiment sera engagée via des unités de régulation et de gestion autonomes. Cette automatisation centralise l'ensemble des informations disponibles, il peut y avoir une extension de ce principe de gestion à des groupes de bâtiments, à des quartiers, créant alors des systèmes de télégestion décentralisés. Des panneaux photovoltaïques pourront produire de l'électricité et d'assurer des périodes d'autonomie énergétique, production d'énergie décentralisée.

Aujourd'hui, la forte pression immobilière, l'étalement urbain, le rallongement de la durée de déplacement domicile/travail et l'absence de mixité fonctionnelle rendent la plupart des territoires quasiment obsolète d'un point de vue fonctionnel.

La ville intelligente proposera, aux individus, la possibilité de travailler hors du bureau, de minimiser les temps et coûts de déplacement, d'offrir une plus grande souplesse dans l'organisation de son temps et de lui proposer de nouvelles formes de sociabilités dans les espaces de co-working. Concernant la collectivité, elle limitera la congestion liée aux migrations pendulaires, limitera le coût de l'immobilier, développera de nouveaux espaces multimodaux attractifs et compétitifs et proposera des solutions pour développer une activité professionnelle innovante sur son territoire. Les solutions :

Pour ce faire, la ville 2.0 amènera des solutions de type bureaux « satellite », fruit de l'initiative privée, caractérise l'implantation d'un nouvel espace de travail plus accessible pour le personnel, afin de réduire les déplacements. Les co-working spaces, lieu de travail qui réunit différents types de métiers et favorise l'interaction entre individus vont s'y reprendre. Il en sera de même pour les « tiers-lieux », terme générique désignant les lieux, néologisme forgé par Bruno Marzloff, qui sont, comme il les décrit, « construits spontanément par les usages », comme les zones de transit, les aéroports, les gares qui deviennent des lieux connectés où il est possible, par exemple, de travailler pour une courte durée. Les systèmes type « Smart work centers », lieux de travail rapprochés du lieu de vie permettant de travailler de manière flexible et de diminuer les temps de trajet pourront également se généraliser.

L'information en temps réel, concentrée en flux vers un centre de gestion technique qui traite simultanément un ensemble de données, mais aussi des données publicisées et accessibles depuis n'importe quel endroit de la collectivité constitue une rupture majeure apportant une meilleure transparence de l'action publique. Le décloisonnement du système d'informations et l'accès facilité aux données transforment la gouvernance de la collectivité aussi bien pour le citoyen-usager que pour l'organisation politico-administrative. La nature des relations entre les élus et leurs administrés est modifiée. D'une part, le citoyen-usager intervient en temps réel et d'autre part, l'aller-retour entre le gouvernant et le gouverné est accéléré.

Les inventions relatives à la maison intelligente sont très anciennes. Ainsi, les « camets » de Léonard de Vinci ont montré qu'il avait déjà conçu une lampe de table munie d'un variateur d'intensité et des portes s'ouvrant et se fermant automatiquement au moyen de contrepoids. Le caractère automatique est, en effet, la pierre angulaire du concept de bâtiment intelligent.

Concept né dans les années 1980, la domotique consiste à mettre en réseau, à coordonner et à automatiser le fonctionnement des équipements électriques d'une maison ou d'un bâtiment, afin de permettre des économies d'énergie, d'améliorer le confort et la sécurité dans le bâtiment. Or, la généralisation de la domotique, qui avait été annoncée comme imminente et inévitable lors de son apparition dans les années 1980, n'a pas eu lieu. Ce demi-échec est en partie, dû à l'inertie propre aux changements dans les modes de vie, mais également à des attentes trop fortes du côté des consommateurs que les techniques et technologies de l'époque n'ont pas su satisfaire. En outre, les bâtiments ayant une durée de vie très longue, l'impulsion du changement dans ce domaine est nécessairement très lente. L'inertie du patrimoine immobilier français est forte, celui-ci n'étant renouvelé que d'environ 1% par an.

Les premiers signes visibles de cette évolution vers un bâtiment intelligent apparaissent aujourd'hui, trente ans plus tard, en raison du développement des « Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication » (NTIC), du contexte réglementaire, des objectifs environnementaux et de l'apparition du compteur communicant, interface entre les réseaux publics d'électricité et le réseau privé du bâtiment, qui ouvre des perspectives d'innovations majeures en aval du compteur.

de nouveaux outils de conception

La nouvelle tendance constructive, orienté sur un engagement fort dans le contrôle et le suivi des capacités énergétiques et environnementales des bâtiments, conditionne forcément les outils nécessaires à l'architecte afin de les aider dans leur processus de conception.

Ainsi, le BIM, Building Information Modeling, apparu très récemment, est une technologie et des processus associés pour produire, communiquer et analyser des modèles de construction. Le BIM se définit à la fois comme un processus de gestion et de production de données, un modèle unique du bâtiment et un logiciel parce qu'il fonctionne en intégrant une série de logiciels.

L'intérêt de cette méthode de travail est souvent présenté le gain de temps et de précision. Si la mise en place de cette maquette 3D nécessite plus de temps en amont, il est très vite rattrapé par la suite, en particulier lorsque les projets subissent de nombreuses modifications. Elle permet également de garder un contrôle sur la synthèse des projets complexes et de rester maître du résultat architectural. Pour l'architecte, passer moins de temps à modifier sans cesse les plans, c'est plus de temps consacré à l'architecture et au développement de son agence.

En phase étude, l'architecte dessine le model 3D. Chaque plan, coupe, élévation est généré d'après ce modèle. À chaque modification, toutes les pièces graphiques se mettent à jour simultanément. En parallèle, les différents bureaux d'études y dessinent leurs réseaux, apportent des précisions sur, par exemple, la structure, l'acoustique ou les aménagements extérieurs. En phase chantier, c'est au tour des entreprises d'y détailler leurs ouvrages. Structure, façades, bardages, mur rideau, couverture, canalisations, gaines, tout y passe. Certains industriels proposent déjà des « objets BIM » à insérer dans les modèles. La composition du modèle par les différents intervenants prend l'effet d'un avancement virtuel du chantier et anticipe les problèmes. Sur certains projets complexes, un BIM manager doit coordonne le travail collaboratif.

Aujourd'hui, presque toutes les agences sont déjà équipées de logiciels informatique 3D. Le passage au BIM peut donc se faire en douceur. L'investissement financier qui en découle est certes important, mais il implique surtout une modification importante des méthodes de travail.

Bon nombre d'entreprises sont déjà passées aux études d'exécution en 3D, voire au BIM car elles y ont très vite vu l'intérêt financier et organisationnel. Les artisans et petites entreprises ne s'y sont pas encore attelées mais sont demandeurs d'une étude du projet bien pensée. Toutefois, l'architecte pouvoir rester maître du dessin, et plus particulièrement de la maquette 3D, au risque d'être relégué au niveau de « contrôleur qualité » et pris en otage par des entreprises souvent plus puissantes. La rigueur du BIM est bénéfique à toutes les échelles et permet une étude collaborative fructueuse avec un client privé. Le passage du stylo à encre tubulaire à l'ordinateur a été aussi important que le passage au BIM aujourd'hui. Il faut absolument pouvoir désacraliser ce nouvel « épouvantail » car ne faut absolument pas qu'il impose à l'architecte une contrainte supplémentaire, mais que celui-ci puisse tirer parti, lui aussi, des avancées de l'ère numérique.

La plupart des architectes estiment que la plus grande valeur que le BIM puisse apporter réside dans sa capacité à améliorer leur processus de conception. La modélisation en 3D permettrait donc, en s'affranchissant des outils traditionnels que sont le dessin et la maquette, de rendre la démarche « projectuelle » plus en adéquation avec les objectifs définis par les programmes de construction issus de la commande publique ou privée. A l'ère de la communication, nous conviendrons, que l'impact visuel d'une simulation numérique sur le client est certain. Il n'y a effectivement pas meilleur moyen de représentation pour la possibilité offrir aux différents interlocuteurs et décideurs de visiter virtuellement et d'apprécier la future construction.

Comme le BIM, la robotique, outils numérique dédié initialement à l'industrie vont, sans nul doute, d'avantage se généraliser dans le monde de l'architecture. Nous pouvons déjà voir apparaître grands nombres de projet qui s'interroge sur l'usage de la robotique dans le cadre de la conception architecturale. Les architectes suisses Gramazio et Koher sont actuellement au cœur de cette problématique en suivant les traces de l'architecte Bernard Cache qui, au milieu des années 1990, s'était emparé du potentiel conceptuel du rapport robotique/objet produit en observant les nouvelles façons d'agencer et de mettre œuvre les matériaux.

A l'heure actuelle, de façon peut-être bien moins médiatisée, les premiers robots apparaissent aussi sur les chantiers afin de remplacer ou d'aider l'homme pour les tâches les plus pénibles. A la clé, une meilleure sécurité sur les zones à risques comme la déconstruction de sites nucléaires ou chimiques.

Pendant qu'un robot ponceur figole un plafond, un drone inspecte les fondations du chantier, sous l'œil indifférent d'un androïde, conducteur de pelleuse. Une scène on ne peut plus banale dans quelques mois, à en croire les fabricants de ces engins, les japonais de Kawada et Kawasaki Heavy Industries. Doté d'une autonomie de deux heures, cet androïde doit remplacer l'ouvrier sur les chantiers à risque. Un des géants français du BTP à décider de le mettre à l'essai sur certains de ses chantiers. Par



ailleurs, conçu par le français Bertin Technologies, un drone vole déjà de ses propres hélices pour inspecter l'état des matériaux d'un barrage ou des lignes électriques.

Cet engouement pour les robots n'est devenu possible qu'avec la banalisation de la robotique. Les dernières versions d'androïdes en provenance du Japon disposent de coques étanches IP 65 pour résister à une pluie battante et marchent désormais sur un sol irrégulier. La multiplication des articulations anthropomorphiques leur permet de manipuler des outils comme un tournevis et même toutes les commandes d'une pelleuse avec les systèmes d'embrayage et de levage.

Sur les robots de conception plus simple, les efforts ont porté sur le bras manipulateur. L'association, sur un même bras, de trois ou quatre axes redondants, permet d'exécuter une tâche (ponçage, perçage, ...) à vitesse constante, sans rencontrer d'obstacles. Et pour éviter le parasitage entre les circuits électriques et les contacteurs de commandes des articulations, toujours plus nombreux, les constructeurs ont installé des filtres.

Par ailleurs, fabricants et intégrateurs ont planché sur la robotisation de fonctions spécifiques aux métiers de la construction. « Le ponçage de matériaux tel que le béton au moyen d'un disque rotatif a nécessité la conception de capteurs d'effort adaptés », explique Philippe Bidault, chercheur au Centre de robotique intégrée d'Ile-de-France (CRIIF). Ce dernier et l'éditeur Robosoft ont ensuite combiné ces capteurs avec de nouveaux algorithmes pour mesurer le retour d'effort d'un disque ponceur en rotation. Une mesure indispensable pour obtenir un travail.

Ces innovations ont convaincu certains constructeurs nationaux, en France Hochtief, en Allemagne, de se lancer dans le développement de prototypes. Bouygues Construction a lancé deux modèles conçus avec sa filiale ETDE, l'éditeur Robosoft et l'intégrateur Modules associés. Le premier modèle, un ponceur, s'activera bientôt sur un chantier de démantèlement nucléaire pour décontaminer une couche de béton radioactive. Un autre robot est destiné au perçage de trous sur de larges portions de tunnels est en cours de préparation. Avec Bertin Technologies et Hélios, un drone d'inspection d'ouvrages d'art métalliques ou en béton est en cours d'exploitation. De son côté, Barriquand a déjà mis en service le robot 3-axes ProKutter, pour le fraisage de canalisations. Le BTP parie aussi sur de nouveaux modes de construction tel que le « Contour Craft », projet de robot portique initié par une grande université américaine, sorte d'imprimante 3D géante fonctionnant avec un matériau proche du béton, est à l'étude par des chercheurs.

Les chercheurs du CRIIF et les développeurs sont d'accord : les progrès viendront des capteurs et des nouveaux algorithmes, indispensables pour mieux cartographier l'environnement. Sur les drones d'inspection, les améliorations porteront sur la miniaturisation pour faciliter l'accès aux lieux les plus confinés.

A terme, ces robots devront réaliser leur mission à tous les étages d'un bâtiment de logements en évitant les obstacles et les ouvriers. Un défi que tentent déjà de relever certains robots industriels. Les robots capables de mener à bien des tâches répétitives

programmées iront bientôt pointer sur des chantiers plus traditionnels. Mais il faut encore qu'il gagne la bataille de l'autonomie énergétique.

En effet, il sera également nécessaire que ces outils se conforment aux exigences énergétiques et environnementales voulues pour la société de demain. Cela d'ailleurs tout le paradoxe notre société, par nécessité, souhaite, consommer d'énergie et qui a besoin de plus en plus besoin de ressource pour répondre à l'attente sans cesse accrue d'échange d'information et de communication. Bien que très intéressante à certains niveaux, les média-façades semble pourtant être un parfait exemple matériel de cette contradiction.

Robot multiperforateur



Robot nettoyeur de banche



Robot perceur



Robot ponceur



2₂ la « médiatexture »

l'information comme matière première

Bien que la problématique de la gestion des besoins énergétiques soit au cœur de toutes les réflexions de production aujourd'hui, celle-ci est parfois mise de côté au profit d'un besoin qui, à première vue, paraîtrait beaucoup moins rationnelle. Il s'agit de la nécessité de communiquer en tout lieu et à tout moment. La façade-média s'inscrit peut-être dans ce rapport. Pour le savoir, il faut déjà en détecter les objectifs.

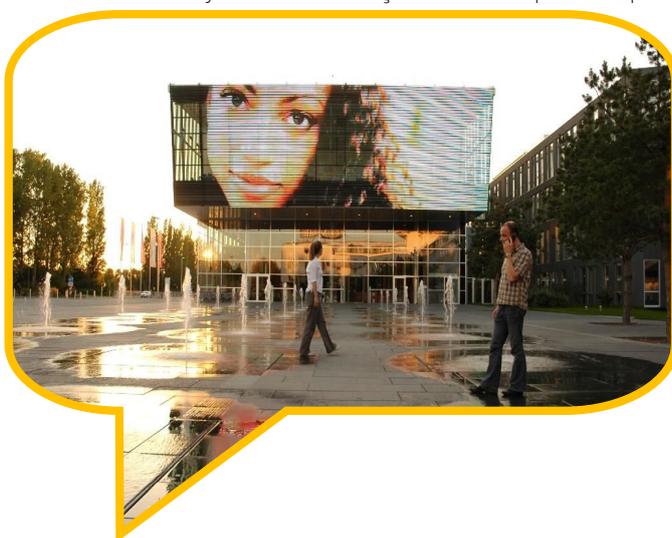
Le premier concept de média-façade a été imaginé dès 1992 par ag4. Pour pouvoir réaliser cette idée, il fallait cependant développer la technologie LED, maintenant très répandue, de manière à ce qu'elle puisse satisfaire aux exigences d'une façade médiatique. À la même époque, un nombre croissant de projets cherchait un moyen d'exploiter les façades des bâtiments pour en faire des interfaces communicatives. ag4 se vit alors confrontée au défi pressant de développer son concept dans ce sens. Et pourtant, il fallut huit ans pour maîtriser les technologies nécessaires à la réalisation de ces idées, et quatre années supplémentaires avant que le premier projet de façade médiatique transparente ne voie le jour.

Le succès de la façade médiatique transparente repose sur deux paramètres : d'une part, la transparence est conservée, et d'autre part il est possible de « médialiser » de vastes surfaces, même d'un point de vue économique. Sur toile métallique ou sur lamelles, la façade médiatique transparente offre de nombreux avantages par rapport à un panneau à LED, notamment en matière de taille, de coût et de possibilités d'exploitation. Les personnes occupant le bâtiment sur lequel la façade est installée ne subissent pas de restrictions importantes.

Images et vidéos, messages d'entreprises et communication de marques, animations artistiques, informations, divertissement : la façade médiatique et transparente offre d'innombrables possibilités de communiquer en grand format avec force et effet. Le système de la façade médiatique transparente fait partie intégrante de l'architecture et

chaque projet repose sur un concept spécifique. Il s'agit d'un système extrêmement individuel dont les résolutions peuvent être configurées différemment, lui permettant de s'adapter à n'importe quel contexte.

Grâce à la façade médiatique transparente, la dynamisation sensible des bâtiments sur la base d'une architecture individuelle et de sa « médialisation » est devenue réalité.



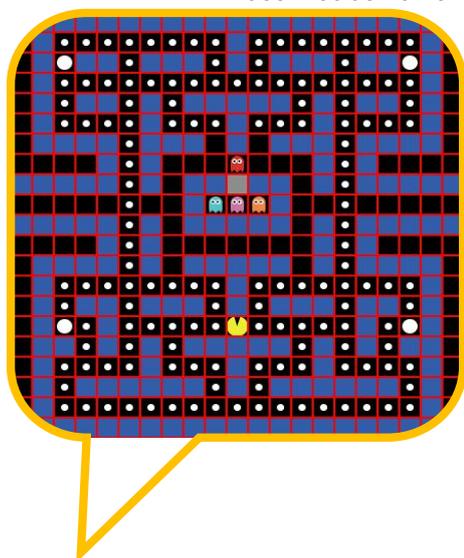
modes de mise en scène

En raison de « l'intoxication » informative et spéculative excessive que nous subissons actuellement, l'attention des individus est une ressource devenue rare. Des images en mouvement sur une façade dynamique possèdent donc un avantage décisif : d'un point de vue psychologique perceptif, notre réflexe naturel d'orientation fait que tout mouvement attire notre attention. Les images statiques, en revanche, finissent par disparaître de la perception humaine.

Les médias visuels « traditionnels » tels que le cinéma ou la télévision disposent non seulement d'un fonds riche et toujours croissant d'images accompagné d'un suivi rédactionnel précis, mais ils offrent également au spectateur la possibilité de sélectionner les programmes. Sur les façades médiatiques, les choses sont différentes. En raison de leur présence stationnaire en agglomération, les façades médiatiques font, pour un grand nombre de personnes, partie intégrante de la vie urbaine au quotidien. Ils voient cette façade médiatique toute l'année, 24 heures sur 24. La diffusion de spots publicitaires classiques, ne serait-ce qu'en raison de la répétition incessante d'un nombre d'images restreint, ne convient généralement pas aux façades médiatiques. L'évolution des conditions de la situation dans laquelle la mise en scène est perçue exige de nouveaux types de diffusion. Au-delà des diffusions classiques d'images ou de films, les médias numériques offrent des possibilités révolutionnaires utilisant des images qui s'auto-génèrent, des moyens interactifs et des réseaux qui répondent aux nouvelles exigences des mises en scène médiatiques sur les façades. Les projets décrits dans le présent ouvrage sont répartis en trois chapitres correspondant respectivement à trois types de diffusion différents : la mise en scène interactive, la mise en scène auto-active et la mise en scène réactive.

l'identification et l'interaction la façade-média composante de la culture urbaine

L'option de l'interaction et de la participation est l'une des principales caractéristiques des médias numériques. Quand les occupants et les visiteurs sont associés à la mise en scène médiatique du bâtiment, ils perçoivent et s'identifient plus fortement à la façade médiatique et à ce qu'elle diffuse. L'interaction ludique ou la participation créatrice font de la façade médiatique un élément exploité de manière intégrale et variée dans le paysage urbain.



La mise en scène interactive est tout aussi passionnante pour le participant actif que pour le spectateur passif. Même les jeux vidéo de la première génération tels que « Pong » ou « Pacman », qui ont été développés au début dans les années 1970, fascinent aujourd'hui encore le public malgré la simplicité

d'interaction. De nouvelles interfaces, notamment les smartphones ou les tablettes tactiles, les ordinateurs portables, les systèmes de navigation GPS et autres technologies mobiles, multiplient les possibilités d'interaction. La présence de caméras, de capteurs ou d'interfaces juste devant les façades médiatique crée, en association avec ces dernières, une dimension spatiale entièrement nouvelle.

Si la nécessité de mettre en scène l'architecture à l'aide de supports électroniques grandit actuellement partout dans le monde, ce n'est certainement pas sans raisons et nous savons maintenant qu'une mise en scène électronique peut influencer un bâtiment. Une construction, par définition totalement statique, peut se mettre tout à coup en mouvement.

Toutefois, le mouvement n'a rien à voir avec la fonctionnalité de la construction, il se veut totalement libre et illimité. La surface du bâtiment s'enveloppe d'une nouvelle fonction susceptible de faire naître à chaque instant quelque chose de nouveau. La façade médiatique nous offre la possibilité de charger nos espaces vitaux d'émotions. Peut-être y associons-nous aussi la nostalgie indéfinie d'un environnement urbain qui ne soit pas uniquement fonctionnel et rationnel, mais plutôt un lieu capable d'interpeller en profondeur la complexité de nos états d'âme. L'évolution architecturale des dernières années reflète la nécessité croissante d'une plus grande complexité. Peut-être avons-nous besoin d'espaces vitaux capables de s'associer de manière plus appropriée et plus cohérente à nos tensions et sensations intérieures. Cela signifierait-il que nous sommes à la recherche d'une certaine authenticité entre notre monde intérieur et notre monde extérieur ?

La nature humaine se caractérise par un grand déchirement intérieur. D'une part, nous avons besoin de repères fixes auxquels nous orienter, et d'autre part nous nous défendons contre cet ordre dès qu'il perd l'authenticité qui le rapproche du monde intérieur que nous ressentons. C'est pourquoi tout ce qui est incertain, pas exactement défini, tout ce qui recèle quelque-chose d'inconcevable devient si attrayant. C'est pourquoi nous aimons tout ce qui se nimbe d'une certaine « magie ». Ainsi, à chaque fois que nous faisons l'expérience d'un nouveau secret, nous espérons, sans doute, que nos propres conditions de vie ne soient finalement pas si définitives et que nous disposions encore de plusieurs possibilités.

visualiser et voir

Cependant, la situation contemporaine de l'environnement urbain qui nous entoure ne peut que très rarement encore déployer une telle « magie ». Les contraintes économiques sont trop importantes. Nos villes sont généralement une succession plus ou moins fortuite de bâtiments dont l'unité n'est guère capable de receler un secret quelconque. C'est là que la façade médiatique offre d'importantes possibilités.

Ainsi, elle aurait la capacité de rompre l'herméticité d'une façade et de permettre un rapprochement dynamique des façades entre elles dans un contexte urbanistique. Il lui suffit pour cela de faire concorder les uns avec les autres les contenus de diffusion des différents bâtiments. L'espace urbain peut retrouver la qualité d'un contexte perceptible au niveau sensoriel. C'est pourquoi, il serait utile que les villes disposent de façades médiatiques et élaborent et appliquent un statut conceptuel concernant leurs contenus respectifs de diffusion. Cela permettrait de développer une culture de diffusion urbaine globale et de mettre fin aux usages abusifs des surfaces médiatiques et de limiter les systèmes publicitaires actuel trop agressifs et très inopérants.

changement de paradigmes

Un tel statut conceptuel n'est possible qu'en procédant à une analyse intensive des phénomènes de perception. Le nouveau média que représente la façade médiatique transforme l'attitude statique d'une architecture en miroir de l'état momentané de son environnement social. Ce qui est diffusé sur le support médiatique reflète l'intérêt qu'éprouve le gérant ou l'utilisateur valoriser l'architecture de son bâtiment et à se présenter ainsi au monde extérieur. La mise en scène médiatique peut avoir des visages très multiples. Elle peut se présenter sous forme d'animation lumineuse dynamique ou encore de diffusion vidéo. Beaucoup supposent que les façades médiatiques à diffusion vidéo peuvent automatiquement entraîner des déluges incontrôlés d'images.

Cette crainte repose sur l'expérience que nous avons des médias à base d'images électroniques. Dans un premier temps, la possibilité de présenter des images électroniques sur une vaste surface pousse toujours les intéressés à retransmettre sur la façade les mécanismes d'un écran. Nos habitudes visuelles sont encore très fortement conditionnées par le facteur télévision. Nous attendons d'un écran qu'il nous fournisse des divertissements et informations sans cesse renouvelés.

Pourtant, un écran provoque toujours une fixation visuelle. Il isole l'observateur et ce dernier se laisse totalement captiver par le média. C'est sur la base de cette habitude que beaucoup de façades médiatiques diffusent un programme rédactionnel, comme une chaîne de télévision. Cependant, une architecture faisant l'objet d'une mise en scène médiatique ne peut pas offrir cette connexité. L'observateur d'une façade médiatique n'est pas isolé, bien au contraire. Lorsqu'il se trouve dans un espace public, il est exclu qu'il perçoive la totalité des images électroniques dans la mesure où il doit réagir à une quantité trop importante de stimuli. Un film publicitaire normal à structure narrative et d'une longueur d'environ 30 secondes est donc inconcevable dans un espace public.

La mise en scène d'une façade-média établit donc des critères totalement nouveaux, et c'est justement là l'occasion que se doit de saisir les opérateurs qui ont la responsabilité d'imaginer et créer les nouvelles formes d'urbanités soucieuses de se mettre en scène dans l'esprit du temps. Par ailleurs, à chaque nouveau projet de façade médiatique, les paramètres de contenu doivent évoluer dans un processus

constant d'interaction entre le propriétaire ou l'utilisateur du bâtiment, la ville et les évolutions sociales actuelles et futures. La mise en scène médiatique de notre environnement urbain se transforme ainsi en méthodologie d'une réflexion intégrée qui reflète la façon dont nous nous comportons en communauté. Dès que la mise en scène d'une façade-média provoque d'une manière ou d'une autre le mécontentement, elle peut être modifiée immédiatement, contrairement à l'architecture qui est dans une temporalité plus longue.

De plus, d'une certaine manière, cette forme de mise en scène médiatique provoque une réflexion de nos compétences et de nos interactions sociales. Elle nous pousse sans cesse à une réflexion sur nous-mêmes et à la question : Qui voulons-nous être ? Quelle est l'atmosphère urbaine qui nous convient ? Le caractère créatif du design médiatique, par ces énormes capacités d'interaction rapide avec les individus, peut générer de nombreuses formes de possibilités de diffusion de la culture et de l'information.

vers une culture urbaine médiatique

Différents facteurs de création médiatique peuvent être définis comme base d'un statut conceptuel. Le rythme du changement d'images, un canon de couleurs particulier, ou encore plusieurs aspects liés au contenu en sont des exemples. Il est donc possible de déterminer une véritable dramaturgie de la manière dont la ville est censée être perçue de l'extérieur vers l'intérieur, et de programmer en hyper-centre des mises en scène médiatiques totalement différentes de celles des grands axes d'arrivée dans la ville ou dans ses espaces périphériques.

Des exemples certainement insolites pour l'activité architecturale montrent qu'il convient de réfléchir à plusieurs niveaux. Le développement d'un statut conceptuel médiatique peut avoir une signification économique pour la ville ou la région concernée, en particulier dans un contexte global. Pour avoir une chance d'être remarquée parmi la masse des capitaux et investisseurs, chaque ville doit se profiler. La mise en scène médiatique d'une culture urbaine permet de dégager des profils particuliers dont l'objectif est de transmettre l'image économique d'un site ou d'un lieu. Dans cet objectif, investir dans le dynamisme de médias électroniques se révèle très efficace à long terme. Une ville comme Paris, par exemple, pourrait procéder à une mise en scène médiatique contrôlée de ses habitants pour souligner son caractère de ville médiatique et artistique.

La création de façades médiatiques électroniques est attirante, ne serait-ce que parce que celles-ci nous permettent de prouver notre appartenance à un jeu global, elles montrent que nous sommes innovateurs et que nos réflexions sont en cohérence avec notre époque et que donc, « the medium is the message ». L'orientation du contenu de ce type de façades, cependant, doit bien entendu refléter les intérêts des usagers, des gestionnaires du bâtiment ou de l'investisseur. Mais le « média-design » d'une façade peut tout de même se subordonner à l'organisation d'un statut

conceptuel urbain plus global. La planification de l'aménagement architectural et urbanistique ne peut d'ailleurs pas fonctionner autrement.

la matière lumineuse pour modeler de nouveaux environnements

Ces média-façades servent à l'orientation, créent des ambiances et des émotions et attirent l'attention. Dans une certaine mesure, on peut dire que la lumière est sa matière première. Cherchant à proposer de nouvelles fonctions pour façades de bâtiment, elles doivent offrir une valeur ajoutée aux différents opérateurs et gestionnaires de l'espace urbain, en embellissant un lieu et en améliorant sa sécurité, en mettant un bâtiment en valeur ou en transmettant une image positive de celui-ci. D'un côté, il a la plus-value culturelle et esthétique mais, de l'autre, notre responsabilité dans nos rapports quotidiens avec la nature, les ressources et l'environnement. Les solutions doivent de plus être durables, respectueuses de ressources et éviter une pollution lumineuse inutile. Le nombre de bâtiments à façade éclairée croît à une vitesse fulgurante. Les transformations architectoniques, sociales et technologiques ont placé l'étude de l'éclairage au-devant de la scène. On peut croire que la média-façade est une excellente méthode pour augmenter l'attrait d'un espace public car la fréquentation nocturne des villes et des sites touristiques est perpétuelle augmentation. Les gens veulent vivre des moments forts et la communication joue un rôle essentiel. Une architecture marque l'aspect d'une ville et lui confère un caractère personnel. Un beau motif n'est pas seulement volontiers utilisé sur les cartes postales, il a aussi des effets positifs sur le comportement des usagers.

Dans les concepts architectoniques, la priorité est accordée à l'architecture, aux matériaux et à l'effet lumineux désiré par l'architecte et différents opérateurs. L'architecture est éclairée, mais le caractère du bâtiment est préservé. Différents éléments ainsi que les structures naturelles de la façade sont mis en avant. Des surfaces verticales claires intensifient le sentiment de sécurité et facilitent l'orientation. Qu'il s'agisse d'un bâtiment historique ou contemporain, les éléments de conception centraux sont le style et les matériaux. Lorsque l'éclairage suit l'architecture, le caractère de la façade reste opérant nuit et jour. Les méthodes de l'éclairage architectural sont multiples. Un éclairage étalé uniforme sur la façade fait ressortir les formes naturelles et les structures superficielles sans néanmoins modifier l'aspect du bâtiment. L'architecture parle d'elle-même. Un éclairage également très apprécié est la mise en relief, à la nuit tombée, de quelques colonnes, ornements ou ressauts avec une lumière blanche.

La lumière précise de détails, de formes ou de structures ou la lumière étalée uniforme met l'architecture en scène. Une attention particulière est accordée aux entrées, aux colonnes et à certaines parties du bâtiment. Avec le bon éclairage, les ornements et les bâtiments historiques acquièrent une valeur symbolique et se présentent dans leur unicité. Dans la mise en scène architecturale, le style et la lumière forment une unité. Aussi, les matériaux et les couleurs sont-ils des critères décisifs pour le choix des

lampes et avant tout de la couleur de lumière. Si l'éclairage fait naître une impression de sophistication, dans une comparaison nuit-jour ou par rapport à l'environnement, le tout est ressenti comme disharmonieux.

L'éclairage naturel avec ses ombres et sa lumière donne du relief aux bâtiments et fait ressortir les structures. On y reconnaît les étages, les fonctions, les entrées et les voies de circulation. Les matériaux et les couleurs sont perçus tout naturellement. La lumière artificielle ne peut remplacer la lumière du jour, par contre elle offre des possibilités de conception individuelle. Elle peut servir à donner un caractère naturel lorsqu'ils considèrent son environnement comme un élément en soi et en tiennent compte. Le défi consiste à structurer le bâtiment ou l'espace urbain avec des types et des couleurs de lumière différentes et à souligner les rapports fonctionnels et émotionnels.

Toutefois, l'objectif émotionnel n'est pas de souligner l'architecture, mais de la moduler à l'aide de matière lumineuse. Des motifs lumineux, des structures et des couleurs donnent la nuit une nouvelle personnalité à l'architecture. La sobriété neutre est remplacée pour des perceptions et des sensations remplies d'émotions. Des éléments d'éclairage créatifs invitent à regarder, à s'attarder et créent une atmosphère diversifiée.

La mise en scène lumineuse n'a pas toujours pour but de souligner ou d'assister l'architecture. Certains architectes veulent donner intentionnellement un nouveau visage à leur bâtiment la nuit. Il s'agit donc de remplacer l'accentuation lumineuse en jouant l'intensité de ses couleurs. Des motifs et structures lumineuses créatives insufflent une personnalité à des bâtiments neutres qui captent alors l'attention et marquent le paysage urbain. Par des éléments d'éclairage décoratifs, les bâtiments sont perçus plus intensément et plus clairement. Les solutions lumière ont en outre le potentiel de créer une relation émotionnelle entre l'architecture et celui qui la regarde.

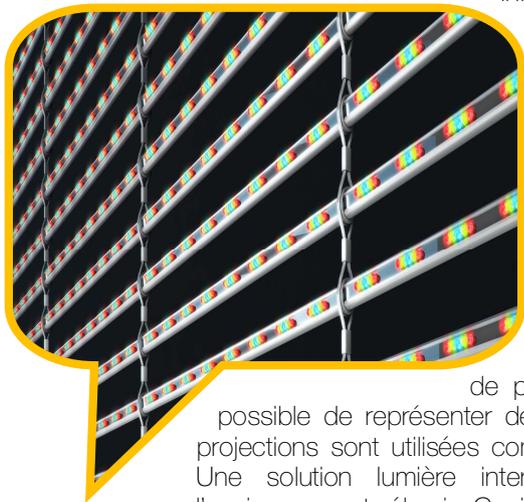
La couleur est en étroite relation avec la lumière et les matériaux et remplit diverses missions : elle peut servir des aspects fonctionnels, mais également transmettre la beauté ou l'émotion. En psychologie on attribue des valeurs définies aux couleurs et aux combinaisons de couleurs. On peut par exemple utiliser la couleur comme symbole pour signaler de loin l'utilisation d'un bâtiment. L'idée d'éclairer les bâtiments industriels et techniques avec des couleurs froides s'est avérée judicieuse. Une lumière colorée crée une atmosphère chargée d'émotions et de vie. Un objet éclairé est particulièrement bien accepté, lorsque ses compositions s'adaptent aux habitudes visuelles des personnes. Les constellations de couleurs, que nous connaissons par exemple dans la nature, peuvent servir de modèle. De plus, une lumière colorée possède la capacité de guider notre regard et de ce fait notre perception sur un objet précis. Les couleurs complémentaires et contrastantes éveillent l'attention.

Avec les technologies LED et une commande de l'éclairage, la solution est toujours plus diversifiée. Des contenus médiatiques sont projetés dans les champs lumineux. Ainsi se communiquent des informations qui vont au-delà de l'aspect de l'architecture. De tels concepts d'éclairage communicatifs sont avant tout réalisés à l'extérieur et utilisés pour rehausser le prestige de la ville, d'une marque ou de l'investisseur. Ils deviennent des outils de communication.

D'ailleurs, ces solutions communicatives transmettent des informations dépassant l'aspect de la façade. Il n'y a pas de limites à la présentation de marques, de valeurs, de messages et les contenus médiatiques tels que textes, images et animations sont projetés sur les pixels LED pilotables de la façade. Une mise en scène dans la couleur de l'entreprise crée une identité de marque hors pair. Les concepts d'éclairage de ce type exploitent les potentiels de notre société qui vit à un rythme de plus en plus trépidant. Ainsi, même la nuit, des entreprises, des marques et même des villes communiquent avec leur environnement.

Cela fait longtemps que l'éclairage de façade ne se borne plus à une simple mise en scène du bâtiment. Il entend faire naître des émotions, attirer l'attention et véhiculer des informations de tout genre. Des contenus clairs comme

des images ou du texte sont des méthodes concrètes pour transmettre des informations. C'est ainsi que, par exemple, l'éclairage d'un bâtiment à usage commercial rayonnant dans les couleurs de l'entreprise permet de tirer des conclusions sur le propriétaire.



Une façade médiatique transmet des informations concrètes au moyen de la lumière. L'éclairage de façade est constitué de nombreux petits points lumineux ou de petites surfaces lumineuses. Lorsque ceux-ci sont commandés individuellement sur la matrice de points lumineux généralement en forme de grille, il est possible de représenter des images, des films et des textes. Ces façades avec projections sont utilisées comme messagers, certaines mènent même un dialogue. Une solution lumière interactive fait participer activement les personnes et l'environnement élargi. Ceci grâce à des interfaces électroniques, comme des messages SMS, des logiciels de dessins basés sur Internet ou des détecteurs de mouvement. Les média-façades cherchent à être en accord avec son environnement, parce qu'elle intègre tant l'architecture que les personnes de l'espace de vie environnant.

risques programmés

L'architecte doit être capable de définir et de formaliser les opportunités que peut offrir la mise en scène médiatique d'une architecture, une « médiatexture », en rapport et en cohérence avec son environnement urbain. La « médiatexture » établit une relation entre les hommes et leur environnement urbain. La nostalgie d'une patrie et d'une culture régionale prend de plus en plus d'importance face à la globalisation des puissances économiques ; la « médiatexture » est une possibilité d'y répondre. Les « médiatextures », ne réagissent pas uniquement aux exigences directes des différents processus d'urbanisme. Nous concilions et harmonisons les besoins des usagers du bâtiment en matière de communication avec la situation culturelle du site faisant l'objet

du projet. Il s'agit de mettre en valeur l'identité du lieu. Le rôle de l'architecte ne changera pas pour autant. Il restera le responsable de l'idée fondamentale à l'origine d'un bâtiment. Le « médiacte » est donc un architecte médiateur offrant de mettre en cohérence ses idées architecturales et d'y rester fidèle dans l'élaboration d'un concept global de mise en scène médiatique en permettant de faire naître un nouvel environnement urbain en adéquation avec un univers fortement conditionné par Internet et les autres moyens de communication contemporain issu du monde numérique.

Comme le dit Andréa Branzi, « L'architecture aujourd'hui ne résout plus des problèmes de construction, mais émet une pure énergie de communication urbaine, une pure imagination domestique. »

Aujourd'hui de plus en plus de villes voient leur paysage urbain se constituer d'écrans gigantesques. Les façades sont d'immenses supports de communication derrière lesquelles le bâtiment ne semble être qu'une « nécessité modeste ». Les nouvelles technologies viennent se greffer, s'entrelacer, s'implanter sur et à l'intérieur de ces façades. Ces dernières ne sont plus considérées que comme des constructions commerciales voire des attractions touristiques. Néanmoins de nombreux architectes et critiques s'interrogent sur la signification que ce type d'architecture pourrait prendre.

Ce type de média-façades masque, cache et désinforme du point de vue de l'architecture. Elles tendent à se constituer comme des enveloppes autonomes qui ont leurs propres histoires à raconter et n'ont plus de lien avec les bâtiments qu'elles protègent. Ce phénomène provient de la culture de « carrosserie », « d'habillement », de « packaging ». Ainsi, le bâtiment est constitué d'une partie intérieure et d'une enveloppe qui auraient chacune leurs propres règles, leurs propres structures et seraient totalement indépendantes l'une de l'autre.

Rem Koolhaas utilise le terme de « lobotomie » pour expliquer cette dissociation entre architectures intérieures et extérieures. Aujourd'hui, si une des fonctions principale d'une façade doit être d'annoncer distinctement les fonctions qu'elle abrite, elle ne paraît plus en mesure de répondre à cette attente. L'échelle des bâtiments est devenue telle qu'il existe un trop grand écart entre le volume d'un bâtiment et la surface de sa façade. En dissimulant l'intérieur, et en supprimant cette « transparence » qui n'a plus de sens dans le contexte actuel, la façade permet de dissimuler au monde extérieur l'éventuelle agitation et les changements internes.

La conception est donc pensée d'une manière nouvelle. Il ne s'agit plus d'une composition de volumes, ni du rapport des matériaux entre eux, mais d'une question de surface, de pixels. Les volumes sont les plus simples possibles de manière à laisser à la façade le potentiel de s'exprimer pleinement. Le bâtiment s'inscrit dans une logique de « packaging ». Le principe d'« automonument » de Rem Koolhaas, veut que dès qu'un bâtiment en vient à posséder des dimensions trop importantes, il devient un monument, quelles que soient les fonctions qu'il abrite. C'est précisément l'absence de symbolisme total de ces bâtiments génériques qui leur permet de devenir des supports de communication. De par son volume, il ne peut être ignoré, mais il n'a rien à exprimer, il est vide et ouvert à toute signification, comme un panneau est disponible

pour l'affichage. Comme nous les verront plus attentivement au chapitre 3.1, l'ornement n'étant plus « un crime », toutes ces constructions génériques, monumentales et vides de sens, risquent de devenir des éponges absorbant informations, symboles, messages et les redistribuant aussitôt. Ainsi « la ville média », ou « ville packaging », deviendrait un enchevêtrement de panneaux publicitaires, simulacres, affiches et enseignes lumineuses.

Cependant selon Christoph Kronhagel, la « médiafaçade » n'est pas seulement un écran urbain, elle fait partie de l'architecture. Il ne s'agit pas de concevoir la peau extérieure d'un bâtiment, ou de la rendre plus dynamique, mais de lui conférer un rôle de « médium ». C'est l'ajout des nouvelles technologies qui lui permet de devenir une interface avec le monde virtuel.

Pour Christopher Hawthorne cette interface avec le virtuel crée un véritable environnement immersif en opposition à des objets monumentaux et muets. En effet, la « médiatexture » devient elle-même un médium, c'est-à-dire un intermédiaire entre le monde construit et la réalité physique d'un côté, et les mondes virtuels et imaginaires de l'autre. Pour Harald Singer, il s'agit donc d'un phénomène inédit, qui a vu le jour dès le passage au nouveau millénaire avec une nouvelle conception de la société beaucoup plus fragmentée et dynamique. De même, Hank Hauler, cite l'article « What is the architecture of the electronic age and how could it be described ? » de Toyo Ito, pour qui ce type d'architecture est une manière de lier les humains à l'environnement d'informations dans lequel ils sont aujourd'hui plongés. Cette « architecture-média » répond au défi d'aujourd'hui qui cherche à prolonger le corps humain d'appendices technologiques qui nous accompagnent comme une seconde nature et nous relie aussi au monde virtuel. Elle s'appuie non seulement sur toutes les technologies nécessaires pour être efficace dans la réception des informations, mais constitue une véritable interface sensible qui permet de communiquer et d'interagir avec l'homme.

Andréa Branzi dit que « l'un des effets de la révolution industrielle a été d'engendrer deux vitesses de développement différentes entre la culture et la réalité. » et qu'« il semblerait plutôt que soit en train d'apparaître une architecture morte, c'est à dire une structure culturelle qui a cessé d'être active, mais qui est acceptée cependant comme l'une des conditions d'équilibre d'un héritage historique qu'on se contente d'utiliser froidement sans en débattre, comme répertoire d'instruments opératoires. »

Penser la façade en intégrant technologies et médias dès la conception, permettrait de changer notre perception de l'espace urbain et de l'architecture à l'âge du digital. Il s'agit d'un moyen de mettre les êtres humains en réseaux directement par l'architecture, de maintenir leur rapport à l'environnement social. Ces architectures veulent créer du lien entre différentes réalités. Comme la société évolue trop vite par rapport à l'architecture, ce type de constructions, en ayant la possibilité de s'actualiser constamment, garde un lien avec le contexte social dans lequel elle se trouve. L'image fixe n'est plus en mesure de représenter et de communiquer avec la société contemporaine. En diffusant des images en mouvement, l'écran serait le moyen le plus adapté pour répondre au changement, à l'instantané et l'éphémère qui qualifie la société actuelle.

De la même manière, pour Christopher Hawthorne, tous ces panneaux ne signifient en aucun cas la fin ou le déclin de l'architecture. Il s'agit de l'expression d'une réalité actuelle, celle de notre éloignement progressif du monde physique vers celui du virtuel. Paradoxe pour l'architecture dont le domaine concerne le construit, cette idée d'immatérialité et de virtualité, aurait trouvé à travers les média-architectures un moyen de s'exprimer. Christopher Hawthorne, considère qu'un futur possible de l'architecture consisterait à quitter le domaine du statique et de l'immuable pour se réinventer constamment et redéfinir sans cesse le paysage. Pour lui, les technologies sont désormais intégrées au bâtiment de telle manière qu'elles en viennent à rendre floue la limite entre ornement ou structure. Comme nous l'avons vu, si chez Loos l'ornement était à rejeter, c'est notamment car il tissait des liens avec le passé et plongeait le bâtiment dans une réalité qui n'était pas la sienne. Aujourd'hui, au contraire, les écrans digitaux pourraient rendre possible une continuité entre l'enveloppe et le monde dans lequel elle se trouve. L'écran deviendrait l'ornement ultime.

Le scénario extrême de cette situation qu'il évoque, serait une mise à jour constante de la ville. Lorsque tous les bâtiments auraient été recouverts de panneaux communicants, tous seraient dans la capacité de se transformer à tout instant, et plus aucun ne laisserait de trace dans l'histoire. Le concept de bâtiment historique serait amené à disparaître. Cette constante réactualisation de la ville signifierait également la perte de son identité et de son histoire.

Toutefois, si l'on met en scène sur la façade les contenus et les événements qui ont lieu dans le bâtiment, ce dernier entre en communication avec la mise en scène. Cette interaction génère une unité, l'intérieur se tourne vers l'extérieur, sur la façade. Ainsi, toute mise en scène adéquate d'une façade médiatique doit être en harmonie avec la forme du bâtiment. L'architecture et les contenus mis en scène qui s'influencent réciproquement doivent pouvoir être perçus comme un tout. Le bâtiment ressemble alors à un organisme vivant.

L'obsession de vivant est aussi l'une des nouveaux champs d'exploration de la matérialité architecturale. S'appuyant sur les recherches des biotechnologies et sur les nouveaux programmes informatiques permettant de formaliser et de simuler les bâtiments comme si ceux-ci étaient de véritables organismes vivants, les architectes cherchent ainsi à « naturaliser l'architecture ».

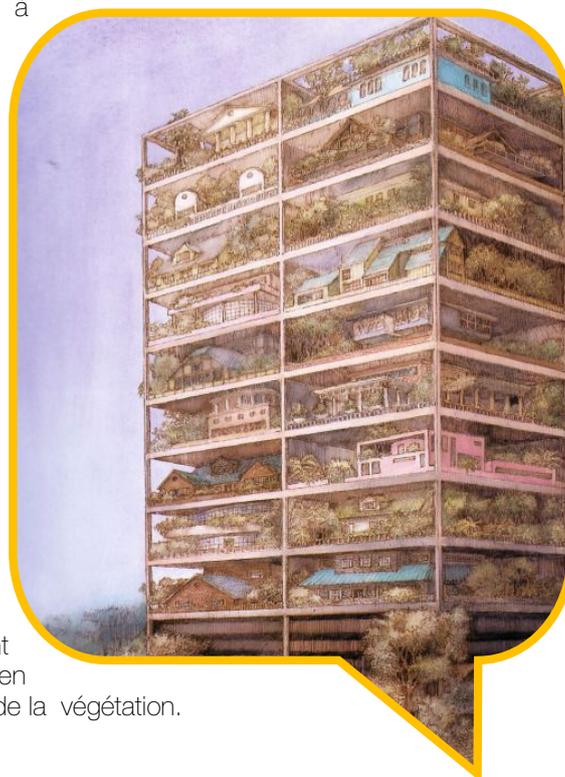
23 matières vivantes nouvelle existence

Le réchauffement planétaire, l'épuisement des ressources fossiles et la dégradation du milieu naturel sont devenus à partir des années 1960 des enjeux politiques incontournables. L'architecture a dû remettre en cause certains de ses principes pour se saisir des possibilités de construire durable. Les architectes ont alors défini de nouvelles stratégies d'interventions qui pensent le paysage, le site et l'homme en même temps.

au-delà de l'architecture verte

Dans son ouvrage « L'architecture verte » paru en 2002, James Wines explore les différentes approches de l'architecture dite écologique et plaide pour une conception qui, au-delà des solutions techniques apportées, chercherait à réconcilier l'homme avec la nature. Si la démarche environnementale consiste, pour un bâtiment, à maîtriser ses impacts sur l'environnement et à mieux gérer sa consommation d'énergie, l'architecture verte procède avant tout pour James Wines d'une vision philosophique du monde. Avec le magasin « BEST Forest Building », son agence SITE fait disparaître la structure bâtie dans la végétation laissée libre d'envahir le nouvel édifice.

Nombre de bâtiments « verts » se sont érigés partout dans le monde, des maisons individuelles ou des complexes géants, neutres en carbone mais aussi producteurs d'énergie ou d'eau potable. Depuis la « végétalisation » des bâtiments jusqu'à la mise en œuvre de leur « réactivité » à l'environnement, les architectes cherchent à établir une continuité directe entre le construit et la nature. Conçue par Édouard François & Duncan Lewis, la Station de Traitement des Eaux à Nantes transforme un site fortement pollué par une décharge vieille de trente ans en immense jardin et tend à effacer le bâti au profit de la végétation.



Dès les années 1970, en pleine crise pétrolière, Paolo Soleri développe son concept d'« arcologie », contraction des mots architecture et écologie, dans un projet de « ville

du futur » située en plein désert de l'Arizona. Envisageant la ville et ses constructions comme un écosystème, il tente de pallier les problèmes énergétiques et consacre ses recherches à des dispositifs utilisant l'énergie solaire. Au même moment, Guy Rottier, en France, se tourne lui aussi vers un urbanisme solaire et développe le projet « Ecopolis ». Avec l'héliophysicien Maurice Touchais, il met au point les « lumiducs », des tubes à parois intérieures réfléchissantes qui, reliés à un miroir capteur, permettent d'éclairer des volumes aveugles et profonds et, en conséquence, de réduire la pollution.

Pour l'agence R&Sie(n), l'architecture doit activement participer à son environnement. Avec « (Un)Plug Building », François Roche et Gilles Desevedavy (propose une façade productrice d'électricité. Grâce à des cellules photovoltaïques et des tubes capteurs thermiques, le bâtiment peut être branché (plug) ou débranché (unplug) du réseau électrique urbain en fonction des besoins et des périodes de l'année. Cette réactivité à l'environnement, « la Maison H », en Corse, de Jakob+MacFarlane l'explore aussi par l'emploi de matériaux organiques et réactifs, des capteurs et des moteurs qui auraient permis à cette maison de bouger avec le climat et la vie de ses habitants.

C'est ce rêve d'une architecture qui réagirait par elle-même, comme une plante, aux paramètres extérieurs que les projets qui suivent tentent d'atteindre. Si, à la Renaissance, l'architecture était appréhendée comme une « fabrique de nature », cette « naturalisation » de l'architecture se retrouve au cours du 20^{ème} siècle, depuis l'Art Nouveau ou les formes organiques de l'architecte catalan Gaudí, en passant par les propositions d'architectes qui se multiplient depuis les années 1950.

Aujourd'hui, le recours au langage informatique, au code et au script, ouvre un champ d'investigation nouveau où la simulation génétique croise les sources de la biologie moléculaire, des processus de réplication et de transcription d'un matériel génétique. Le concepteur, qu'il soit artiste, architecte ou designer, participe ainsi à ce qui pourrait être considéré comme une véritable écologie du design.

architectures et processus naturels

À côté des propositions aux formes organiques qui se multiplient au cours des années 1950 à 1960, plusieurs architectes émettent alors l'hypothèse que la forme courbe est le résultat d'une logique à la fois rationnelle et naturelle. Cette approche de la nature envisage d'imiter non plus des formes mais les processus qui président à leur apparition, à leur évolution et à leur organisation.

Les architectures aux formes ovoïdes de Pascal Häusermann, pour le « pavillon du Week-end expérimental » de Grilly (1959), par exemple, empruntent à l'œuf ses qualités à la fois économiques, structurelles et esthétiques. De la même manière, Vittorio Giorgini étudie dès les années 1950 la structure des organismes naturels afin de réaliser une architecture dont les formes courbes répondent à des nécessités structurelles tout en réconciliant l'homme avec lui-même (Liberty, 1977 à 1979).

En 1956, Ionel Schein conçoit la première maison tout en plastiques. Industrialisable et légère, cette architecture emprunte à la coquille de l'escargot son principe de croissance. Au fur et à mesure du temps qui passe, la famille s'agrandit. Il faut donc proposer un système qui s'adapte au



cours de la vie. Schein développe un module de chambre se branchant et se déployant en spirale autour du bloc central. La même année, Schein conçoit un principe d'assemblage reposant sur le branchement (plug-in) de coques en plastique les unes aux autres. Autorisant la modularité et le transport, ce système peut s'appliquer à tout type de programme, de la chambre d'hôtel d'appoint (Cabine hôtelière mobile, 1958) à la bibliothèque mobile (Bibliothèques mobiles, Projet Hachette, 1957). Favorisant la mobilité de l'homme, ces principes de plug-in et de prolifération cellulaire vont marquer les expérimentations architecturales des années 1960-1970, depuis Archigram en Angleterre jusqu'aux métabolistes japonais, en passant par les recherches de l'association Habitat évolutif en France.

morphogenèse et complexité

Au cours de la seconde moitié du 20^{ème} siècle, l'architecture s'ouvre peu à peu à la théorie de la complexité, paradigme né de la rencontre entre les sciences de la vie et celles de l'information. Cette approche envisage toute forme comme le résultat d'interactions entre les éléments qui la composent à différents niveaux d'organisation. Les projets d'Eilfried Huth et Günther Domenig, notamment « Medium Total » (1970), portent particulièrement la trace de cette rencontre entre biologie et théories de l'information, comme la cybernétique. Dans ce cadre, l'architecte doit s'attacher à définir l'ensemble des relations qu'un élément entretiendra au sein d'un système architectural, ses propriétés ainsi que ses règles d'agencement. Très sensible aux théories du biologiste François Jacob, Jean Renaudie expérimente par le dessin des combinaisons de formes géométriques qui deviendront ensuite un ensemble à la fois architectural et urbain, et dont la variété des configurations répondra à la diversité humaine (Gorges-de-Cabriès, Vitrolles, 1975).

Cette approche de l'objet, tant mobilier qu'architectural ou urbain engage certains architectes et ingénieurs dans l'étude des principes de morphogenèse naturelle, c'est-à-dire des processus d'émergence des formes de la nature. La diversité des formes naturelles est envisagée comme le résultat des lois de combinaisons d'un nombre limité d'éléments (comme les atomes par exemple). Les formes architecturales doivent donc émerger de logiques de répétition d'un polygone, un polyèdre ou tout autre élément de base qui pourra ensuite s'étendre à l'infini. Les chercheurs en morphologie structurale, comme David George Emmerich ou Günther Günschel s'attacheront à découvrir ces lois d'apparition des formes afin d'offrir de nouvelles solutions et de nouvelles conformations architecturales. Développé à très grande

échelle, ce principe trouvera une application dans certains projets de mégastructures, villes tridimensionnelles construites à partir d'éléments standard et modulables, s'étendant au-dessus du sol et se donnant comme solutions au problème de la surpopulation, comme celles proposées par Eckhard Schulze-Fielitz.

L'apparition de l'ordinateur dans le processus de conception de l'architecture facilitera la prise en compte de cette complexité en accélérant le calcul des interactions entre éléments.

Le rapprochement entre l'informatique et la biologie va progressivement engendrer un nouveau champ transdisciplinaire qui envisage une communauté de langage entre la nature et l'informatique. L'idée de code, génétique ou informatique, devient centrale dans l'apparition des formes naturelles et artificielles : les informations portées par le code, les « données », sont croisées et combinées selon des formules mathématiques, les algorithmes. L'apparition des outils de conception assistée par ordinateur permet désormais la création numérique de formes en manipulant des paramètres, c'est-à-dire en apportant des modifications dans le code qui seront ensuite traduites en représentations virtuelles. Si la plupart des architectes contemporains utilisent l'informatique en lieu et place du dessin, certains, comme Biothing ou Theverymany, s'attachent plus particulièrement à la rédaction de « scripts », des formules de code qui calculeront et engendreront des formes architecturales biomorphiques.

simuler le vivant croissance et dégénérescence

Cette analogie entre code génétique et code informatique se traduit par l'apparition de modèles et de théories à la croisée des sciences génétiques et mathématiques. Le début du 21^{ème} siècle est marqué par l'émergence d'outils et de logiciels de simulation de processus de conception bio-inspirés. Les outils de simulation qui sont désormais utilisés sont fondamentalement différents de la modélisation mathématique utilisée jusqu'alors. Les modèles mathématiques traditionnels impliquaient en effet une approche simplifiée de ces processus, d'une part en n'intégrant que très peu de paramètres, et d'autre part en opérant par déduction à partir d'un « résumé ». Au contraire, les outils de simulation rejouent l'ensemble du processus en passant par chaque étape et en tenant compte de nombreux paramètres ainsi que de leurs possibles variations. La complexité est constitutive de cette approche. Le recours à la computation devient donc indispensable.

Les logiques récursives, à l'œuvre dans la subdivision cellulaire ou les fractales, sont couramment exploitées par des architectes tels que Michael Hansmeyer, SPAN ou EZCT. Par exemple, dans le projet du « Bloomberg Pavilion » de



l'architecte Akihisa Hirata, les « motifs » triangulaires de la couverture, qui découlent d'un principe de prolifération organique, recréent visuellement la masse du feuillage. L'architecte Michael Hansmeyer développe notamment une approche « biomimétique » de l'architecture à partir de processus de subdivision cellulaire, et dont la complexité procède de la simulation computationnelle de systèmes vivants. Les algorithmes auxquels il recourt lui permettent de transférer ces procédures morphogénétiques à des structures en trois dimensions. « Subdivided Columns », réalisé en 2011, est un ensemble de colonnes réalisées à l'échelle 1/1, conçues et fabriquées numériquement. Ayant comme point de départ une colonne dorique classique, elles sont le résultat d'un processus de subdivision numérique donnant lieu à des millions de facettes. Il en résulte des volumes aux contours irréguliers qui semblent comme érodés par les éléments.

Ces principes morphogénétiques peuvent être guidés par un principe d'optimisation. Par exemple, les « algorithmes génétiques » sont des formules mathématiques s'appuyant sur des techniques dérivées de la génétique et de l'évolution naturelle (croisements, mutations, sélection...) pour générer des formes. Des populations de formes évoluent de génération en génération au fur et à mesure de croisements entre « individus » pour s'adapter à certaines contraintes. L'agence française EZCT emploie ces algorithmes évolutionnaires afin de définir une chaise (Chair model T1-M, 2004) qui répond à certains paramètres comme s'asseoir ou s'appuyer. Pour concevoir et produire « Bone Furniture », 2006, Joris Laarman a collaboré avec le centre de développement international Adam Opel, GmbH, celui-ci avait mis au point pour la construction automobile un logiciel inspiré de la croissance des os et des végétaux. Transférant cet outil à l'échelle de l'objet mobilier, Laarman développe une série d'algorithmes d'optimisation 3D capables de simuler ces processus naturels. Certains agents définissent la structure et les lignes principales de l'objet, d'autres optimisent sa forme au maximum, ajoutant ou supprimant de la matière. En utilisant ainsi l'outil numérique pour calculer et générer une forme selon un processus de croissance biologique, Laarman révolutionne les modalités du design et dépasse la logique mimétique de l'Art Nouveau ou du Design Organique des années 1960.



D'autres, au contraire vont simuler des processus de dégénérescence matérielle, à l'instar des deux tabourets « Degenerate Chair » (2012) de Daniel Widrig. Niccolo Casas simule des phénomènes de sénescence grâce aux outils numériques, comme une interrogation sur une beauté post-digitale et sur une certaine esthétique de la laideur. Plus qu'une simple dégénérescence matérielle, cette décadence consiste en une transition dynamique entre deux états, qui entraîne la désintégration d'organismes, naturels, culturels ou sociaux, au profit de l'émergence de singularités, ici d'ordre géométrique et matériel.

Réactive et vivante, l'architecture reprend à son compte la capacité des êtres vivants à s'adapter à leur environnement et à modifier leur structure si nécessaire. Jenny Sabin

établit une réciprocité entre comportements cellulaires et morphogénèse architecturale. Par exemple, avec Eskin, une peau murale hautement performante, l'agence s'inspire du corps humain et de la capacité de nos cellules à modifier leur microenvironnement et à répondre aux variations extérieures avec une dépense énergétique minimale. Les notions d'adaptation, de changement et de performance propres au fonctionnement des cellules humaines s'appliquent ici à l'architecture. À l'aide de nouveaux matériaux et de capteurs interactifs, le film s'adapte à l'environnement et consomme très peu d'énergie, comme les cellules humaines.



Le projet de Span, « Recursive formations », simule la croissance exponentielle des villes. L'agence explore la capacité des logiciels de simulation à prendre en compte, comme le ferait un organisme vivant, une variété de paramètres environnementaux (circulation, éclairage, couleur, pression atmosphérique, etc.) et à générer un tissu interactif, capable de s'adapter aux changements et aux nécessités d'expansion.

Cette approche, dont l'environnement devient le matériau premier, se retrouve chez Wendy Teo. Dans son projet de réhabilitation de la gare de Taipei, « Reforming Taipei station », elle intègre aussi bien la chaleur produite par les lignes de transport souterraines que les ressources naturelles, l'eau de la rivière toute proche et les micro-algues dans une infrastructure nouvelle vouée à assurer l'autonomie énergétique de la gare.

L'agence B+U repense également le « durable » en exacerbant les qualités des paysages urbains existants. Leurs projets s'appuient sur la transformation, dans le fonctionnement même du bâtiment, des forces énergétiques, sonores et magnétiques puisées dans l'environnement. En collaboration constante avec des ingénieurs et des consultants spécialisés en structure, en mécanique et en énergie, B+U mise sur les matériaux composites. Dans le projet « Animated Apertures », ils exploitent le potentiel des échanges énergétiques qui se produisent entre l'environnement naturel et le bâtiment par le biais des fenêtres orientées dont les longues tiges flexibles réagissent aux forces environnementales tels que le soleil et le vent pour les transformer en énergie et assurer son autonomie à l'immeuble.



Au-delà du bâtiment isolé, c'est la ville entière qui est concernée par cette possible autonomie. La « Fresh City » de X-TU, totalement ouverte aux flux environnementaux, se dote de dispositifs dépolluants et producteurs d'énergie biologique par photosynthèse. L'usage du béton drainant en façade, apte à recevoir des espèces xérophiles colonisatrices, les murs-rideaux équipés de systèmes de culture de micro-algues, sont destinés à produire les carburants assurant l'autonomie énergétique de la ville.

3

**nouvelle
conception
matéριο-
logique**

3₁ matériaux ornementaux matière décora(c)tive

la renaissance ornementale

Au cours des 10 à 15 dernières années, l'ornement ou plutôt pratique ornementale a fait un spectaculaire retour dans la production architecture contemporaine. Ce retour a pris diverses formes. Les motifs sérigraphiés sur vitrage de Herzog et Meuron pour les façades de la bibliothèque de l'école technique Eberswalde achevée en 1997 et le revêtement coloré des laboratoires de recherche pharmacologique Boehringer Ingelheim réalisés par Sauerbruch Hutton en 2002 en sont de parfaits exemples mais pourtant de caractères visuels assez différents.

Il en est de même pour les motifs de spirales, plafond baroque d'Evan Douglas pour le « Choice Market Café » de Brooklyn ouvert en 2010 qui des principes qui n'ont rien à voir avec ceux choisis en 2007 par Foreign Office Architects pour l'enveloppe du « John Lewis Department Store » de Leicester.



Ainsi, un même motif déployé dans des matérialités et des contextes différents permet de générer des caractères formels, des objectifs stylistiques différents ou des informations différentes.

C'est donc, cette capacité à générer de la diversité formelle et stylistique qui a permis un retour de l'ornement. Cette importance pour la discipline architecturale a été reconnue assez unanimement par les théoriciens et les praticiens. C'est d'ailleurs ce qui a été examiné dans des articles « La Structure de l'ornement » de Greg Lynn ou de « Contemporain Ornament : The Return of the Symbolic Repressed » de Robert Levit.

Pour bien saisir le caractère radical de ce renouveau, il est nécessaire de se rappeler comment l'architecture moderne s'était débarrassée de la question de l'ornement dès son début. Dans son célèbre essai de 1929, « Ornement et Crime », l'architecte viennois Adolf Loos avait dénigré l'ornement comme inutile, puérile et même « criminel ». L'évolution de la culture architecturale va ainsi être synonyme de la disparition de l'ornementation dans l'usage des matériaux car il est considéré comme

une incongruité du passé. L'architecture moderne aspirait à s'identifier à la culture de l'âge de la machine.

Cela n'a pas signifié pour autant que la dimension ornementale a disparu totalement de l'architecture moderne. Elle est restée, par exemple, présente sous différentes formes dans le œuvre de Mies van der Rohe : dans l'utilisation de matériaux nobles comme le marbre et onyx pour le pavillon de Barcelone en 1929 ; ou plus loin, Institute of Technology dans l'Illinois en 1958 ou la Galerie nationale de Berlin en 1968, dans la conception minutieuse des détails constructifs qui rappelle quelque peu du vocabulaire plus classique. Les traces de pratiques ornementales peuvent effectivement se trouver dans le travail de presque chaque architecte moderne majeur, surtout après la seconde guerre mondiale, où le modernisme est devenu enfin culturellement dominante. Cette domination a créé les conditions d'une indulgence nouvelle et tacite vers neo-ornemental éléments.

Les traces laissées par le coffrage des bétons réalisés par Le Corbusier à la fin de son activité font partie de ce vocabulaire dit « neo-ornemental ». Ceux-ci sont en fait censés sensibiliser le spectateur à la main productive de l'ouvrier de la construction d'une manière qui rappelle fortement de l'une des fonctions clés d'ornement selon le théoricien français du 19^{ème} siècle John Ruskin. Le caractère ornemental des éléments comme l'homme du Modulor à l'entrée de la Unités d'habitation de Marseille (1952) et Firminy (1967) est encore plus évidente.

Au tournant des années 1970 et 1980, le postmodernisme a commencé explicitement de réintroduire la question de l'ornement. Le critique Charles Jencks a fait remarquer qu'avec le modernisme « l'ornement, polychromie, métaphore, humour, symbolisme et convention ont été mises à l'index et toutes les formes de décoration et référence historique ont été déclarées tabou ». Pour surmonter ce qu'ils considéraient comme une automutilation dramatique de la discipline, architectes comme Léon Krier a même essayé de revenir à l'usage des ordres architecturaux. Mais pour la majorité des théoriciens et praticiens impliqués dans la réaction contre les insuffisances du modernisme, l'ornement reste secondaire par rapport à la question du symbolisme et de la sémiotique. Il incarnait une des façons dont l'architecture pourrait renouer avec ses différents publics. Mais ce n'était pas la seule possibilité, loin s'en faut. L'ornement n'était certainement pas à l'épicentre du postmodernisme. Il figure parmi les principales dimensions bannies par le modernisme. Il a joué un rôle relativement mineur dans les écrits de Colin Rowe, Aldo Rossi ou Robert Venturi.

Le retour d'ornement que l'on peut observer aujourd'hui est en fait indissociable de la diffusion massive de l'ordinateur dans la profession d'architecte qui avait commencé par le milieu des années 1990. Depuis les premières étapes prises dans ce sens comme « Paperless Studio » de l'Université Columbia, fondée par Greg Lynn, Hani Rashid et Scott Marble, qui ont clairement marqué un tournant, logiciel de conception et de fabrication assistée par ordinateur ont ouvert des nouvelles perspectives matérielles et esthétiques. Il est possible de générer des textures et motifs avec aisance encore impossible jusque-là. Les géométries complexes sont devenues accessibles à toute personne qui sait comment utiliser un ordinateur. À cet égard, les imprimantes 3D, les découpes-laser, les tous les outils à commandes numériques ont

simplifié la réalisation des éléments complexes. De nouvelles possibilités d'utiliser les matériaux sont devenues possibles.

Cette évolution est donc liée aux grandes évolutions technologiques et de programmation en ce qui concerne la technologie, et l'essentiel de la question architecturale se déplace jusqu'à la périphérie du bâtiment avec la prise en compte des exigences environnementales et du développement durable. L'évolution des programmes renforce le caractère stratégique de l'enveloppe qui apparaît souvent déconnectée de l'intérieur, qui doit maintenant être aussi modulable que possible pour permettre un changement périodique de destination. On est confronté à un nombre croissant de « méga-construction » de type grands magasins, centres commerciaux et musées. L'ornement et l'usage des matériaux qu'il suppose représentent un antidote simple au risque de voir l'architecture disparaître sous la pression de la durabilité ou des exigences programmatiques.

textures, motifs et topologie la nouvelle matérialité ornementale

Sous l'influence des outils numériques, l'ornement d'aujourd'hui présente en effet une série de nouvelles fonctionnalités. Tout d'abord, il réside souvent dans la texture superficielle, l'ordinateur nous permettant de moduler et de représenter à l'écran avec une vivacité qui le transforme en un élément essentiel de la conception. Bien sûr, la texture a toujours été un aspect important de l'architecture. Mais la technologie numérique a permis de devenir une dimension plus autonome, existant dès le commencement du processus de conception et empreint d'un certain caractère ornemental. En outre, comme l'a noté Stephen Perrella « les logiciels rendent possible la texturation de n'importe quelle surface avec n'importe quelle image, brouillant ainsi la distinction entre la texture et l'image ». Le jeu avec ce nouveau continuum a conduit à des pratiques ornementales allant de « pixellisation » à « wallpaperisation » étendue. Par exemple, Herzog et de Meuron utilise des techniques de pixellisation pour le projet « De Young Museum » de San Francisco réalisé en 2005. L'« écran d'argent » de Francis Soler pour le Ministère Français de la Culture à Paris (2004) fournit également un bon exemple de « wallpaperisation ». La dentelle abstraite qui enveloppe les bâtiments est en fait le résultat d'une déformation d'une composition de Giulio Romano usée d'une conception assistée par ordinateur.



Par ailleurs, depuis les années 1950, les motifs ont été présents dans de nombreuses réalisations qui ont tentées de relier l'ordinateur et la culture cybernétique dans les arts et le design. Ceci a été, par exemple, au cœur de tentatives de Gyorgy Kepes qui cherchait à tisser ensemble des informations et l'organisation physique de notre environnement. Dans la continuité de ces expériences pionnières, nous observons la généralisation de l'utilisation de ce genre de procédé pour générer des motifs sur les façades. Cette diffusion a été encore une fois facilitée par un logiciel informatique. Avec les possibilités offertes au concepteur de gérer des motifs complexes par le biais de déformation, de panneaux et de calepinage, ils constituent l'une des bases des pratiques décoratives contemporaines.

Enfin, le mouvement même de la façade peut devenir ornemental. Avec leurs courbes douces, empreints d'une fluidité presque Baroque, la « Maison Folie » de Lars Spuybroek à Lille (2004) illustre clairement cette possibilité favorisée par la facilité avec laquelle les concepteurs peuvent maintenant manipuler la géométrie complexe et « animer » les formes, pour reprendre l'expression de Greg Lynn. Le mouvement de torsion de la façade de Tel Aviv Museum of Art de Preston Scott

Cohen (2011) peut également être interprété dans ce sens. Comme une autre façade, intérieur cette fois, la « perspective » central du bâtiment possède une tournure encore plus ornementale. Ainsi la topologie fait partie du vocabulaire ornemental contemporain comme la texture et le motif.



Au-delà de ces trois possibilités précédemment définies, toute une gamme de pratiques ornementales hybrides ont vu le jour. Bien que la figure du pli continu appartienne en

principe à la catégorie topologique, il a été souvent réduit à quelque chose de plus graphique. Dans de nombreux cas, les éléments structuraux ont aussi tendance à acquérir un caractère ornemental, souvent en relation avec un désir de libération d'un cadre prétendument structurel. Le pavage de Voronoï ou la structures Weaire-Phelan, telle que celle utilisée pour le Cube d'eau de Pékin (2008) par PTW Architects, est représentatif de ce flou entre la structure et l'ornement architectural. À proximité du Cube d'eau, ce flou peut également être observée sur l'« Olympie Stadium » de Herzog et de Meuron (2008), également connu sous le nom le « nid d'oiseaux ». Son réseau de poutres, certains porteurs, d'autres pas, possède une enveloppe étonnamment ornemental, quelque peu rendant illisible le système structurel comme s'opérant traditionnellement. Ainsi, il crée l'illusion que les principes traditionnels de la tectoniques n'a plus d'incidence sur la construction.

D'autre part, une différence majeure entre l'ornement traditionnel et contemporain réside dans le refus systématique de toute sorte de signification symbolique, au moins publiquement. Dans leur livre «Atlas of Novel Tectonics » Jesse Reiser et Nanako Umemoto s'interroge, par exemple, sur l'utilisation de « signes non-signifiant » car « une

architecture qui doit s'expliquer, ou être expliqué, n'a pas présenté ses propres qualités ». Derrière cette interrogation, on détecte la crainte d'un potentiel retour à certaines des limites plus flagrantes du postmodernisme des années 1960 et 1970 : L'utilisation d'un vocabulaire symbolique plaqué sur la façade de l'immeuble sans véritable lien avec son organisation dans l'ensemble architecturale. Avec ses copies de béton de Michel-Ange esclave mourant faisant saillie sur le dernier étage d'un poste de police conçu par l'architecte Manolo Nuñez-Yanowsky à Paris (1991) illustre parfaitement les résultats extravagants à laquelle peut conduire cette attitude. Le choix de Moussavi et Kubo d'attribuer la nécessité d'une « fonction » à l'ornement doivent être comprises dans la perspective de ne pas céder à ce genre. Sans fonction, croient-ils, l'ornement serait une simple addition lui-même se référant à une sphère de significations à l'extérieur de l'architecture. Aujourd'hui, la question est de savoir quelques fonctions peuvent être apportées par l'ornement pour répondre aux problématiques présentes et futures ?

réinventer la signification de l'ornement

Si sa relation avec la subjectivité ne se distinguent pas forcément, l'ornement contemporain semble plutôt fortement empreint à une enquête au sujet de la matérialité et les sens humains. Sous l'influence d'une série de recherches, découvertes et de développements, allant de l'évolution spectaculaire des sciences des matériaux à la généralisation des outils numériques et les possibilités qu'ils s'offrent pour visualiser et exploiter à différents niveaux, l'échelle macroscopique et nanoscopique de la matière, l'ornement architectural contemporain est inséparable de cette évolution générale. Son usage doit très certainement quelque chose au désir d'expérimentations dans un champ à la frontière entre la conception et la fabrication. Ce n'est pas par hasard que les recherches matérielles dans l'architecture présentent tant un caractère ornemental. C'est ainsi que les architectes Gramazio et Kohler recherchent de nouvelles façon de formaliser l'architecture partir d'assemblages robotisés de matériaux et que Neri Oxman explore de la nouvelle perméabilité entre le monde biologique et la computation.

Dans cette perspective, matérialité apparaît comme un mélange de caractéristiques anhistoriques et de facteurs culturels en exploitants de nouveaux champs scientifiques. Maintenant, la matérialité s'articule les contraintes physiques, telles que les lois de la mécanique ou de la physiologie de la perception ainsi que des constructions sociales.

Conçu et fabriqué à l'aide de l'ordinateur, l'ornementation contemporaine devient inséparable d'une recherche en évolution constante sur la matérialité. Dans cette recherche, il présente un certain nombre de caractéristiques révélatrices. Tout d'abord, il engage fortement aux sens, la vue et le toucher en particulier, qui donne la possibilité de nous faire participer à un « ensemble sensoriel ». Cette dimension tactile est évidente dans le cas du M. H. De Young Museum de San Francisco d'Herzog et de Meuron, avec ses points qui évoquent un texte écrit en Braille. Avec leurs textures intrigantes, beaucoup d'autres projets invitent le spectateur à caresser leurs façades

avec ses doigts. La sensibilité tactile connaît son paroxysme avec le pavillon du Royaume-Unis, créé par le Studio de Heatherwick, pour l'Expo 2010 de Shanghai et ses 60 000 tiges en acrylique qui évoque une boule de poiles géante ou un oursin.

Le « Pixel Studio de 505 » à Melbourne (2010) de construction de même séduit l'œil avec ses panneaux colorés qui nous rappelle une sculpture cybernétique de Nicolas Schöffer créée dans les années 1960. Bien souvent, l'ornement contemporain semble prendre appui sur des expériences artistiques des années 1950 et 60, de l'art cybernétique et de l'Op art. Les textures, les motifs, les courbes et les plis semblent animés et dynamiques. Comme beaucoup d'expériences dans les années 1950 et 1960, il a tendance à formaliser des interactions sensibles subjectives, plutôt qu'un ordre statique.

Pour transmettre cette nouvelle volonté de la relation entre l'architecture et de ses utilisateurs, les concepteurs d'aujourd'hui se réfèrent à la notion de deleuzienne d'identification. Dans leur livre « The Function of Ornament », Farshid Moussavi et Michael Kubo considèrent, que l'objectif principal de la décoration architecturale contemporaine réside dans la production d'identification en relation avec les paradigmes culturels et sociétaux.

Ainsi, l'architecture a besoin de mécanismes qui lui permettent d'être liée avec les paradigmes culturels et sociétaux. L'évolution architecturale se produit à travers l'apparition de nouveaux concepts par lesquels elle se lie à de nouvelles matérialités, et qui se traduit par de nouvelles compositions esthétiques. C'est ces nouveaux effets qui permettent de renouveler constamment notre façon d'envisager les espaces bâtis, les villes et les territoires.

La composition esthétique des bâtiments a été explorée de diverses façons à travers l'histoire. Au 20^{ème} siècle, le modernisme a utilisé la transparence pour obtenir une représentation « directe » des éléments architecturaux de l'espace, de la structure et du programme fonctionnel. Mais l'histoire récente a contribué à faire de l'utilisation de la transparence littérale obsolète, ce qui induit une rediscutions de l'expression stylistique des bâtiments. Mais le style ne peut pas facilement s'adapter aux changements culturels.

Actuellement un certain nombre de condition nous oblige à réévaluer nos outils de construction et d'expression stylistique des édifices. Il s'agit d'un nombre croissant de typologique qui sont « vides ». Grands magasins, centres commerciaux, multiplexes, bibliothèques, usines et centres de distributions ne nécessitent pas de relation entre intérieur et extérieur. La technologie contemporaine et la nécessité pour les environnements contrôlés et scellés nécessitent de plus grand locaux de service, de rangements et de salles de serveurs, engendrant une augmentation significative de la taille de ces bâtiments. En outre, le rôle de l'architecte devient plus en plus spécialisé dans la conception d'enveloppe extérieure, laissant l'intérieur à d'autres concepteurs. Cela est particulièrement vrai des développements spéculatifs de l'immobilier, où les locataires ne sont pas connus au début d'un projet. Par ailleurs, les nouveaux règlements environnementaux visant à atteindre une meilleure efficacité énergétique contribuent fortement à cette nouvelle condition. Le verre seul est incapable de fournir

des solutions efficaces pour le contrôle de l'environnement et doit être renforcée par le biais de masques solaires ou en fournissant des zones d'opacité qui augmentent sa performance thermique. Maintenant, l'utilisation du verre dans la construction de telle sorte d'obtenir une transparence pure ne peut plus être un moyen l'expression architectural.

Ainsi, les architectes s'orientent vers une expression architecturale extérieure qui est indépendante de l'intérieur et qui se tourne d'avantage vers sa relation à l'environnement urbain. Le rôle des architectes ne peut donc plus du tout continuer à seulement s'impliquer la morphologie du bâtiment. Il doit maintenant répondre la synergie entre l'intérieur et l'extérieur par l'intermédiaire de la surface de l'enveloppe.

Cela modifie radicalement l'expression des bâtiments libérés de la prédominance de l'organisation intérieure, l'occasion est de trouver de nouveaux outils à travers lesquels l'architecture peut s'engager sur une synergie avec son milieu urbain. Il est clair que dans une société de plus en plus cosmopolite et multiculturelle, la communication symbolique est plus difficile à adopter car il est difficile d'obtenir un consensus sur les symboles ou les icônes. Les outils de représentation étant de moins en moins codés et incapable de produire la convergence culturelle.

le décor et la communication

Pour Gottfried Semper, les exigences fonctionnelles et structurelles d'un bâtiment devaient être subordonnées aux objectifs sémiotiques et artistiques de l'ornement. Pour Adolf Loos, en revanche, l'ornementation était « un crime ». Selon lui, l'ornement a été utilisé par les sociétés traditionnelles comme un moyen de communiquer visuellement une différenciation et de classification sociale. Le modernisme cherchait à ne pas souligner l'individualité, mais donc à rompre avec cette idée. Ainsi, pour Adolf Loos, l'ornementation avait perdu sa fonction sociale et était devenue inutile.

Le Modernisme a apporté à l'architecture une obsession avec la transparence. La transparence était censée faire l'architecture plus « sincère », contrairement à l'académisme de la société bourgeoise qui était plus axée sur la décoration pour signifier son appartenance à la classe sociale dominante. Ainsi, l'architecture ne devait plus chercher à déguiser les fonctions, mais, bien au contraire les rendre visibles et pour rendre la ville et ses bâtiments immédiatement lisibles. C'est l'un des paradigmes qui a dominé l'architecture et le design urbain jusqu'à dans les années 1960.

Une critique de cette approche a été formulée dans la décennie qui a suivi. Dans un premier temps, Robert Venturi et Denise Scott Brown ont dénoncé le paradigme moderniste comme cynique et terne et proposé de remplacer la transparence avec un décor.

Pour eux, le décor a aidé à intégrer les bâtiments dans le domaine urbain et leur donner un sens aux yeux du public. Leur proposition a approuvé une rupture radicale entre les bâtiments en fonction et bâtiments comme représentation, acceptant comme un vecteur de créativité les contradictions entre l'espace, la structure et le programme d'une part et la représentation sur l'autre. Venturi et Scott Brown a soutenu que les architectes, intention sur la génération d'expression hors les ordres internes des bâtiments, ignoré les expressions culturelles « clés en main » qui permettraient à l'architecture pour communiquer avec un public plus large.

Toutefois, cette première forme de postmodernisme est rapidement devenue obsolète. En l'absence d'un système de compréhension ou un langage commun, le message transmis par ce postmodernisme ne parvenait pas à être entendu.

Les symboles hérités restent tributaires d'un contexte ou un moment culturel particulier et ne peuvent survivre à des conditions changeantes. Si l'architecture doit rester convergente avec la culture, il faut construire des mécanismes par lesquels culture peut constamment produire de nouvelles images et concepts plutôt que recycler ceux qui existent déjà.

la nécessité d'un nouvel ornement

Le but de la plupart des architectures du 21^{ème} siècle est de continuer de relier efficacement le sens fonctionnel avec celui de l'esthétique. Semblable à la suggestion de Siegfried Kracauer que les nouveaux modes d'ornementation architecturale donnent « forme à une matière donnée ». Ainsi produites, les nouvelles formes de conception architecturales produisent des effets qui semblent directement se développer à partir de la matière elle-même.

L'objectif est de produire des sensations nouvelles ouvertes à de nouvelles formes d'expérience en cohérences avec les objectifs des modes de vies actuels. C'est là d'ailleurs, un des nouveaux paradigmes de la société contemporaine. Extrait directement de la sensation et de nos expérience, ils contournement les nécessités physiques et spatiales pour un langage pour être ainsi en mesure de passer à travers l'espace et le temps. Ils peuvent produire des analogies indirectes, mais leur but premier est de transmettre les forces invisibles dans la culture contemporaine visible.

Par exemple, des expériences récentes cherchent à exploiter des « data », des diagrammes et d'autres méthodes non figuratives de façon efficace dans l'exploration d'un processus de formalisation ou de visualisation dans l'objectif de rendre la technologie et les sciences comme dynamique culturelle. Cette dynamisme culturelle oblige que chacun concepteur définissent leur propre terrain et de développer une cohérence propre pour chacune de leurs productions. Ces productions ne sont pas sur « pure expression architecturale », extraites de tout contexte cultuel, mais plutôt, contaminé par ce contexte.

A travers des processus ornementaux, les matériaux ont la capacité transmettent leurs caractéristiques d'identification. L'ornement est donc nécessaire et inséparable de l'objet conçu. Il n'est pas un masque déterminé a priori pour créer un sens précis (comme dans le postmodernisme), même si elle contribue au contingent ou signification involontaire (une caractéristique de toutes les formes). Il n'a pas l'intention de décorer, et il n'est en elle aucune signification cachée. Dans le meilleur des cas, l'ornement devient un signe « vide » capable de générer un nombre illimité de résonances.

Alors que le décor et la représentation formaliste promues par le postmodernisme semble correspondre à un renouveau culturel en adéquation avec la systématisation progressive des outils numériques issus de notre société de « communication ». L'ornement devient donc indispensable car il a maintenant la capacité de générer de l'identification formelle tout en venant en résonance avec son environnement.

L'ornement est à la fois décoratif, interactif et informatif et devient, comme le décrit l'agence d'ECOi, un décor actif, une « décor(ac)tion ».

l'identification formelle

Les ornements sont intrinsèquement liés aux effets de matérialisations architecturales. Le siège de Seagram attache soigneusement poutres en « I » à sa couche de revêtement pour créer un effet vertical. La « Ricola Laufen Warehouse » d'Herzog et de Meuron utilise des lattes de différentes hauteurs sur son revêtement extérieur pour créer un effet visuel. Ces mêmes architectes utilisent, pour le magasin Prada de Tokyo, un « tramage » en panneaux de verre concave soigneusement choisis pour donner un effet matelassé à l'extérieur. La « 30 St. Mary Axe Street office tower » de Norman Foster introduit un système de ventilation de diagonale, un « tramage » et deux couleurs de verre pour contribuer à un effet de forme d'ogive en spirale. Aucune de ces décisions spécifiques sont indispensables au fonctionnement de l'intérieur du bâtiment, mais ils sont vitaux pour les affects qu'ils déclenchent dans le paysage urbain. Feuilles découpées au laser, tubes en verre, plaques de plancher plissé, écrans perforés, pavages complexes et modèles structurels sont quelques exemples de nos ornements contemporains.

Le même matériau peut produire un effet différent selon l'ornement auquel il est associé et selon le contexte dans lequel il est utilisé. Cette différence est observable dans de nombreux cas et pour différents matériaux. Ces matériaux étant disposés de manière différente dans des contextes de panneautage, tuilage, calepinage, effet de couleur, pixellisation d'image ou motifs.

Avec l'essor de la culture numérique, l'idée qu'il nous est, par nature, difficiles à nous séparer de notre environnement a pris une nouvelle tournure. Comme à chercher à le

démontrer de l'architecte japonais Toyo Ito, nous possédons désormais deux corps : celle faite de chair, l'autre de électrons. Nous ne sommes pas des cyborgs obtenues grâce à un collage brut de chair et de la technologie, mais des organismes finement répartis au sein de différents maillages, qui s'articulent presque parfaitement entre le biologique et l'électronique.

Ce mode distribué d'existence permet-il toujours de nous parler d'un sujet humain ? Alimentée par la philosophie postmoderne, par les progrès plus récents d'une technologie de plus en plus intrusive, ainsi que par les entreprises artistiques tels que les tentatives de Stelarc ou d'Orlan modifier et étendre le corps humain, la littérature sur le post-humain représente un genre prospère ? En architecture, Andrew Benjamin a proposé il y a quelques années d'interroger, si ce n'est pas trop tard, ce sujet est l'un des principales caractéristiques de l'évolution de conception actuelle.

La vie connectée est révélatrice. D'une part, comme le sociologue Sherry Turkle a observé, « l'attention croissante du temps de navigation et l'accumulation des d'identifications virtuelles ont tendance à brouiller les définitions traditionnelles de l'identité et de la personnalité », en effet, nous devenons multiples par l'usage croissant des noms d'utilisateur, mots de passe et avatars qui nous suivent sur Internet. En revanche, nous avons tendance également à reconstruire des représentations plus stables de nous-mêmes à travers les blogs et les pages d'accueil. Nous cherchons certainement à essayer d'apparaître d'être « unique » sur Facebook et LinkedIn. La distribution et la dispersion ne sont peut-être pas suffisantes pour caractériser la subjectivité contemporaine. Il peut s'avérer préférable de l'aborder en termes d'une pulsation constante, un mouvement d'expansion suivie d'une tendance à contracter pour ressembler à une fois de plus un sujet traditionnel.

Dans ce rythme constant, le rôle joué par les pratiques de l'ornementation est tout aussi révélateur. Pris au sens large, l'ornement exerce un pouvoir dissolvant sur l'individualité et de la subjectivité. De télé-réalité pour publicités, nous nous baignons dans un océan d'ornements qui produisent l'anonymat. Les rituels collectifs auxquels ils correspondent ne sont pas sans analogie avec un divertissement populaire, qui a inspiré la célèbre analyse de Siegfried Kracauer l'ornement « masse ». Véritablement postmoderne ou non, le sociologue Français François Ascher, qui pour sa part préfère le terme « hypermoderne », trouve que notre société se révèle elle-même « intensément ornementales ».

L'ornement est également mobilisé pour reconstruire une approche très personnelle du monde. Peu importe que certaines pratiques ornementales, comme le piercing et le tatouage, présentent effectivement un caractère de masse, le but est généralement d'affirmer son identité et sa vision unique. La prolifération des tatouages s'avère particulièrement remarquable dans cette perspective. Nos rues sont pleines de jeunes guerriers ornés d'une manière qui aurait horrifié Adolf Loos, bien qu'il fût été un peu rassuré par leur dépendance de la classe sociale dominante.

Où les ornements architecturaux s'intègrent-ils dans cette vue d'ensemble ? Comme nous l'avons vu, il se rapporte clairement à la nouvelle forme de subjectivité qui se dessine sous nos yeux. Il exprime certaines de ses caractéristiques fondamentales,

telles que sa parfaite intégration dans son environnement, sa multiplicité et la complexité. La nouvelle condition superficielle de l'architecture qu'elle incarne également fait écho à une propension à vivre et à effectuer à la surface des choses et des êtres humains, qui a été repérée par les philosophes et les penseurs culturels tels que Jean-François Lyotard ou Fredric Jameson. Ce dernier, en particulier, a observé comment dans de nombreuses productions postmodernes, « profondeur est remplacé par surface ou par plusieurs surfaces ». Le sujet contemporain affiche une tendance marquée à reconnaître les textures et modèles plutôt que des formes et des structures.

Cependant, le rôle de l'ornement architectural dépasse cette fonction expressive. Il participe directement à la déconstruction/reconstruction de la subjectivité. Jusqu'ici, l'efficacité d'un décor architectural contemporain semble se situer principalement dans les effets agréables. Pour être plus précis, le spectateur se retrouve exposé à des solutions de rechange de jouissance presque subliminale et de réalisation consciente que l'ornement provoque des changements en lui-même et sa relation à l'objet architectural.

Les ornements architectes actuels se connecter aux questions de hiérarchie sociale à travers le type de programme qu'ils ornent habituellement. Musées prestigieux, stades et théâtres, bureaux haut de gamme et de copropriétés. Pourtant, aucune gradation claire n'existe entre les programmes de luxe et les bâtiments modestes. Lorsque le budget le permet, un architecte utilisera le même type de « texturage » et de structuration pour le logement social comme pour un musée. La neutralité du décor architectural à l'égard de la hiérarchie sociale, qui permet de représenter un rôle fondamental de l'ornementation, est inquiétante. On peut l'interpréter comme une manifestation de générosité sociale mais il est plus probablement dicté par un sentiment d'impuissance, face à devoir distinguer et faire la différence dans une société paradoxalement plus inégalitaire.

Le caractère très générique de l'objet ciblé par un décor architectural d'aujourd'hui s'avère encore plus problématique. Contrairement aux tatouages, qui sont associées à des profils relativement spécifiques, les ornements architectes n'ont pas de destinataires clairs. Ni riches ni pauvres, ni instruite, ni inculte, il n'importe pas vraiment, ce qui est contemporain de l'architecture semble dépourvue de tout caractère social spécifique.

L'âge des ornements destiné uniquement aux masses semble avoir atteint sa limite. Ceci pourrait expliquer la réapparition de décor architectural comme élément de médiation entre les masses et les individus. La pertinence politique de l'ornement réside également dans ce rôle de médiation. Pour jouer ce rôle, l'ornement doit transmettre des leçons. Encore une fois, il doit se reconnecter avec la réflexion et les connaissances.

Les institutions et les gouvernements cherchent à développer de nouvelles stratégies de conception plus élaborées de la ville et de son bâti. Les nouveaux objectifs de la ville numérique, la « Smart-City », et des nouveaux modes de distributions énergétiques, comme des « Smart-Grid », entre désormais en jeu. Fait révélateur, les

nouvelles cartes dynamiques produites par des initiatives de recherche comme au « SENSEable City Laboratory » du MIT, pour nous permettre de suivre les rythmes urbains en temps réel et de générer des nouvelles morphologies et de matériaux. Dans un tel contexte, la ligne qui sépare la compréhension des fonctions matériels et l'ornement devient chaque jour plus perméable.

Avec la programmation informatique, les architectes conçoivent des objets qui, semblant dépourvus d'échelle évidente, pourraient aussi bien s'apparenter à un objet de design qu'à une structure monumentale. Les proportions du bâti, de la structure ou de l'objet se trouvent transformées par leur traitement ornemental. Dans les projets présentés, l'ornement questionne l'échelle de plusieurs façons.

Michael Hansmeyer s'appuie sur le principe de la subdivision cellulaire pour réaliser ses projets. L'ornement, qui ici aussi fait partie intégrante de la matière, compose des milliers de facettes différentes. On est pris ici entre le désir de reculer pour avoir une image complète de la structure complexe et celui de se rapprocher afin de percevoir la magnificence baroque des détails.

La répétition variée des motifs composant la structure, peut donc provoquer des effets quasi hypnotiques. Presque animés d'une vie propre, les graphiques obtenus par l'artiste Marius Watz dans la série « Grid Distortion » résultent d'un processus auto-génératif de distorsion d'une grille qui aboutit à des systèmes filaires d'une grande complexité.

Comparons les couverts d'Isaie Bloch au Pavillon de musique proposé par la même agence. Dans les deux cas, la matière semble avoir été étirée, voire déchirée en autant de trous irréguliers. D'un projet à l'autre, le même principe engendre des motifs différents mais totalement apparentés et applicables dans un objet de design ou dans un bâtiment.

32 prémisses des nouvelles matérialités

Depuis l'avènement de la révolution du numérique, « la futurologie des villes a gagné le monde entier » comme l'écrivait déjà Michel Ragon dans les années 1970. La ville moderne a fait place aux « villes globales » mises en concurrence dans des réseaux d'échanges transnationaux. Les flux matériels, (démographiques, industriels, logistiques), immatériels (financiers, politiques, culturels) et informationnels ont redessiné une géographie aplanie au sein de laquelle ces centres cherchent à réinventer des spécificités locales. Les mégapoles du sud, leurs doubles précaires, explosent sous l'afflux de nouveaux citadins. Si, en Asie ou dans le golfe Persique, des terrains vierges sont encore offerts à l'expérimentation sous l'égide de la promotion immobilière, le défi majeur consiste aujourd'hui à, comme le dit Yona Friedman, « réorganiser ce qui existe déjà pour opérer la transition démographique et écologique ».

La nouvelle géopolitique des villes rend donc caducs les outils d'analyse et les modèles de planification traditionnels, jusqu'au terme de « ville » lui-même. Les systèmes intégraux d'hier semblent être devenus les modèles opératoires d'aujourd'hui, qui actualisent un « monde sans urbanisme », comme le dit Rem Koolhaas. La ville de demain est stratégique. Il s'agit de relier la micro-échelle de l'individu à la macro-échelle d'un territoire urbain, s'appuyer sur le paysage existant pour intégrer de nouveaux quartiers pluriels, opérer de nouvelles relations entre des acteurs qui ont des objectifs différents et générer ses propres ressources technologiques et environnementales. La ville mondiale devient un lieu qui polarise les flux des différentes natures créant un véritable tissu urbain continu.

Le 20ème siècle, celui de la mondialisation, aura été marqué par la désagrégation des villes traditionnelles, dont la forme hiérarchisait un espace limité, au profit d'un champ diffus d'intensités urbaines. En recouvrant le territoire, l'architecture et l'infrastructure ont supplanté l'urbanisme. Qu'elle soit un système ouvert et indéterminé ou un réseau polynucléaire, la ville contemporaine émerge d'une organisation quantitative et qualitative de cette nappe urbaine diffuse. À l'image des projets utopiste de « mégastructures » des années 1960, qui opéraient déjà comme des ossatures infinies, la ville générique peut aujourd'hui s'étendre modulairement à toutes les échelles. À l'inverse, on voit apparaître des systèmes clos, qui redistribuent en leur sein les flux physiques et immatériels.

Connectées par un réseau d'infrastructures, les villes globales définissent aujourd'hui une succession de hubs, des zones de transits dans un territoire mondial homogénéisé. D'autres, émergentes, cherchent à s'insérer dans cette géopolitique nouvelle. Toutes veulent affirmer une identité propre, capable de conjuguer les aspirations locales avec des dynamiques de développement global. À la mixité sociale est liée une mixité programmatique, qui s'étend à des programmes autres que l'habitation comme ceux de la culture, des commerces ou des loisirs, et deviennent les vecteurs privilégiés de cette « spécialisation », qui réinscrit les villes sur la carte des échanges transnationaux. Ils sont au cœur des politiques de renouvellement urbain, voire d'implantation ex nihilo. Dans la société des loisirs, la ville s'affirme comme une

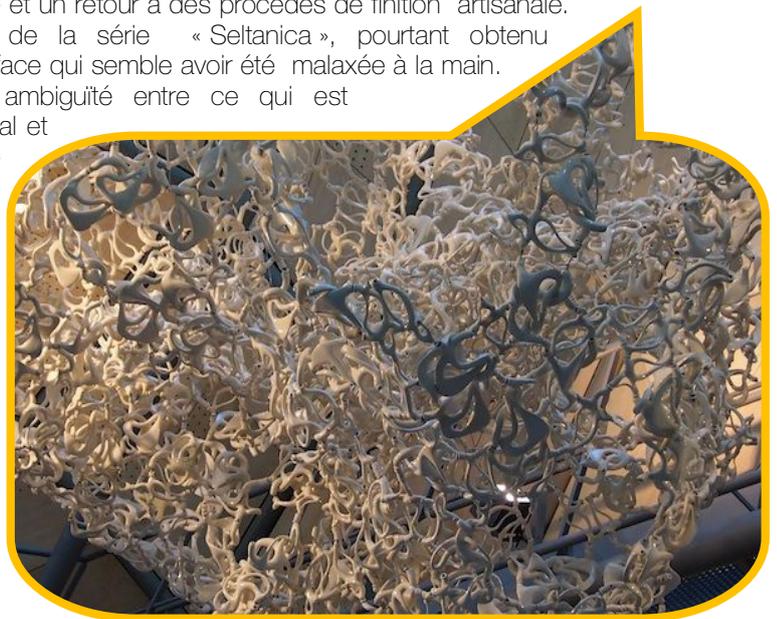
« destination culturelle » et se présente comme une somme d'« expériences », un « paysage performatif » au sein duquel l'architecture installe des ponctuations remarquables. Certains architectes choisissent de renouer avec un urbanisme flexible, qui fait place aux seuls usages. L'infrastructure organise alors des champs d'intensités ouverts à toutes les appropriations, temporaires et évolutives.

L'impératif écologique, aujourd'hui irréfutable, appelle une reconfiguration urgente de l'urbain, qui dépasse le « biomimétisme » généralisé où la végétalisation excessive et esthétisante reconduit un idéal de nature depuis longtemps disparu. Au contraire, l'architecture verte invente désormais une nouvelle écologie, au sein de laquelle le naturel est technicisé pour permettre une gestion holistique des ressources et une autorégulation des flux biologiques, énergétiques et démographiques. Un nouvel habitat urbain apparaît à la jonction du local et du global : les architectes fusionnent les échelles territoriales, au croisement du bâti et du connecté, du sauvage et du maîtrisé. L'auto-construction, prônée dans les années 1970, trouve une actualité particulière dans les contextes d'urbanisation spontanée. Des dispositifs énergétiques alternatifs impulsent de nouveaux cycles physiques et sociaux à l'échelle du grand territoire, dessinant un « paysage de transitions ».

À la fin des années 1970, en Italie, l'idée d'un « nouvel artisanat » intégré au secteur de l'industrie apparaît. Le studio Alchimia, par exemple, produit des petites séries expérimentales de pièces uniques, dont l'objectif est de renouveler le répertoire du design industriel. Depuis les années 1990 et le développement des technologies numériques, les créateurs repensent les principes répétitifs de standardisation. Aujourd'hui, dans la mesure où l'architecture et le design proposent des productions uniques à partir de la déclinaison d'un même système, se pose la question d'un nouvel « artisanat » possible, qui définirait des « objets » situés entre fabrication numériques et finition main.

Affect, volupté et sensualité sont des qualités de surfaces que les architectes recherchent afin de pallier le caractère lisse des formes industrielles. Les effets de surface obtenus par le déploiement de motifs ainsi que les matériaux choisis influent particulièrement sur notre appréhension sensible des objets et des bâtiments. Les membres de Commonwealth cherchent précisément à concilier un design conçu au moyen des technologies de pointe et un retour à des procédés de finition artisanale. L'intérieur râpeux des lampes de la série « Seltanica », pourtant obtenu numériquement, renvoie à une surface qui semble avoir été malaxée à la main. Le résultat obtenu crée une ambiguïté entre ce qui est technologique et ce qui est artisanal et c'est là précisément que vient se loger la volupté pour l'agence.

Iris Van Herpen conjugue elle aussi les techniques artisanales de la haute couture et les outils numériques de pointe (impression 3D). Elle propose des robes radicalement nouvelles aux volumes étranges qui évoquent



des univers organiques complexes. Le prototypage rapide, par exemple, autorise des dessins digitaux extrêmement complexes qui produisent des structures faites de centaines d'unités différentes. La qualité ornementale et sophistiquée du vêtement provient de la multitude de ces éléments en- suite liés entre eux de façon artisanale.

De la même façon, avec « Polymorph : Digital Ceramics », Jenny Sabin explore de nouveaux processus de génération de formes, où géométrie et matérialité sont intrinsèquement liées. Ici, 1300 modules à la géométrie complexe sont assemblés manuellement pour composer une structure aérienne.

Le rapide tour d'horizon de l'histoire des sciences de l'information réalisé dans les chapitres précédents nous montre que le développement des machines à apprendre et des réseaux d'information est le développement, par l'animal humain, d'une nouvelle nature parallèle à la nature dont il est originaire. Internet est à cette « nature » créée par l'homme ce que la biosphère est à la nature originelle. Ainsi, l'écologie n'est pas un retour au naturel mais un stade technologique différent. Cette idée est clairement exprimée dans le travail d'architectes tels que Toyo Ito, mais elle explique aussi pourquoi les implications de la technologie de l'information ont été le mieux comprises par des penseurs « alternatifs » tels que Kevin Kelly ou Buckminster Fuller.

Les éléments multifonctionnels, ou ceux qui peuvent réagir « intelligemment » aux conditions ambiantes, sont d'un grand intérêt dans l'architecture. L'exploitation des propriétés des nanoparticules signifie que le développement de matériaux sur mesure est maintenant à portée de main. La nanotechnologie implique un changement d'état dans un matériau. À l'échelle nanométrique, comme une composition chimique des particules les plus infimes, substances communes telles que les métaux, la céramique, le verre et les semi-conducteurs révèlent des propriétés totalement différentes de celles avec lesquelles on est familier dans leur état solide normal. Les métaux peuvent devenir semi-conducteurs ou des pigments de couleur; la céramique peuvent être transparents ou servir de conducteurs électriques; et le verre peut être transformée en un matériau adhésif. Nanoparticules révèlent des phénomènes physiques qui ne sont pas retrouvés dans les produits solides normaux.

Des « smart materials » (matériaux intelligents), changent leurs caractères physiques ou leur aspect selon les conditions de chaleur, d'humidité, de pression, de pollution, selon leur exposition à la lumière, à des ondes électromagnétiques ou à tout autre stimulus. Ceux-ci résultent de l'introduction de molécules nanométriques dans des matériaux classiques (bois, béton, acier) ou encore de traitements de surface modifiant les caractères physiques ou optiques, comme c'est le cas avec le projet « Eskin » de Jenny Sabin. Réalisé en bois composite, le projet d'Achim Menges (Hygroskin Meteorosensitive Pavilion) reprend quant à lui le principe de la pomme de pin dans laquelle la présence d'eau dans la trame des rainures du bois modifie la distance entre chaque microfibre, provoquant



alors la fermeture ou l'ouverture des écailles avec les changements de température et le taux d'humidité.

Les questions portent sur les enjeux et pratiques innovantes que permettent les nouvelles technologies en matière d'architecture numérique, en les considérant à travers le prisme des modalités de conception, de réalisation et de fabrication.

La rencontre questionne les nouvelles formes de spatialité, les nouvelles pratiques tout autant que les nouvelles modalités perceptives associées aux situations interconnectées dans lesquelles nous plongeons les dispositifs architecturaux interactifs.

A travers son rapport à l'information, l'architecture utilisatrice des technologies de liaison, pourrait trouver une redéfinition de sa nature en tant que discipline hybridant des réalités numériques, physiques, sensibles, économiques et sociales. L'architecture paramétrique, les processus génératifs, le continuum conception fabrication représentent de nouveaux modes de matérialisation de l'espace construit intégrant les nouvelles technologies. Ce renouvellement des modalités d'émergence de la forme architecturale dont les attributs spatiaux s'évaluent en terme de performance contextuelle, de qualité informationnelle et de niveau d'interactivité, engage des reconfigurations expérientielles tant au plan de l'usage ordinaire et quotidien de l'architecture que de son appréhension esthétique et émotionnelle.

Les rapports entre l'aspect décoratif et l'objet sur lequel il s'appose vont être source de nombreux débats, notamment à partir de la fin du 18^{ème} avec les nouveaux modes de production industrielle. L'ornement devient souvent le moyen de masquer, parfois à outrance, une matière brute, et son caractère superflu et mensonger est condamné. Pour Eugène Viollet-le-Duc, Henry Cole ou Gottfried Semper, celui-ci doit être subordonné à la structure du bâti.

La nature qui, de tous temps et dans toutes les cultures, a inspiré la création de motifs ornementaux, devient au 19^{ème} siècle la source de l'ornement dans les arts décoratifs. Mais dès la fin du 19^{ème} siècle, les réactions face à ses excès se font vives. De l'Art Nouveau qui s'attache à concilier structure et décor, au refus catégorique de l'ornement par Adolf Loos qui préfère les structures rationnelles et nues, on rejette l'ornement superflu, masquant la vérité de la structure et des matériaux. De Stijl, le Bauhaus, les représentants du Style international revendiquent ce concept au travers d'objets et d'architectures rationnelles aux formes géométriques pures compatibles avec une société industrielle en plein essor.

Les années 1960 et le goût pour des formes rondes et acidulées et, plus tard, le post-modernisme des années 1980, désavouent l'esthétique moderniste et accordent à l'ornement une place cruciale. Celui-ci vise l'hybridation et le métissage en empruntant à de multiples sources populaires ou culturelles (Alessandro Mendini, Robert Venturi, Ettore Sottsass...).

Le secteur du bâtiment, de la conception et de la construction du cadre bâti, représente un des enjeux environnementaux majeurs du 21^{ème} siècle. Pour y répondre les concepteurs comme l'ensemble des acteurs économiques devront avoir une parfaite compréhension et maîtrise de la complexité de la construction. Le programme de recherche Matérialité Numérique et Objets Ambiants vise l'exploration des modalités de programmation, de conception, de fabrication et de perception de notre environnement bâti défini en termes « d'objets ambiants » dans le contexte contemporain de la société de l'information caractérisée en particulier par des modalités d'instrumentation numérique généralisées. Ce programme de recherche porte en particulier sur les questions relatives à l'instrumentation de la conception et de la fabrication, à l'instrumentation des matériaux et des composants du bâtiment et corollairement sur l'intégration et la préfiguration des potentiels et des modalités d'usage interactifs de nos architectures urbaines.

La mise en application des outils numériques tout aussi bien pour la conception de l'architecture que pour la production de ses éléments, instaure un champ informationnel continu et hétérogène. Ces modalités opératoires ont déjà bouleversé tous les champs de la production architecturale. Il apparaît depuis quelques années que l'utilisation des outils numériques dans le processus de conception architecturale s'est ancrée dans la pratique de nombreuses agences. Cette utilisation fonde même une démarche innovante et participe au renouvellement théorique de la pratique architecturale.

La notion de matérialité numérique trouve un sens à l'articulation de quatre phénomènes contemporains, le continuum conception-fabrication, l'usage des matériaux instrumentés, l'émergence d'entités perceptives nouvelles et la généralisation d'un espace augmenté. Le continuum conception fabrication est largement associé aux modalités d'instrumentation du processus de conception, celui-ci inscrivant une trajectoire continue des phases de recherche conceptuelle au prototypage en passant par la matérialisation de maquettes jusqu'à la réalisation du dispositif final. La deuxième caractéristique porte sur l'utilisation et le développement des matériaux instrumentés. Cette approche inscrit ses racines dans une science des matériaux, dépassant la seule généralisation de la matière pour interroger et valoriser les spécificités d'un assemblage de briques élémentaires conçues sur mesure ou dont les propriétés sont spécifiées et transformées. La troisième caractéristique repose sur l'émergence d'entités perceptives nouvelles. Celles-ci sont directement induites par nos modalités d'interaction avec le réel, interaction couramment instrumentée par des dispositifs communicants. En prolongement de ces notions, c'est l'usage de l'espace augmenté qui vient renforcer cette hybridation des réalités physiques et numériques comme vecteur de nos interactions et de nos sensations. La définition de l'espace par ses limites physiques se trouve modifiée et enrichie par son imbrication avec l'espace virtuel.

La notion d'objets ambiants s'étalonne l'horizon écologique de conception de notre environnement architectural à l'échelle interactive et intensive du corps en mouvement. Elle mobilise les cultures numériques à travers le potentiel morphogénétique des outils de modélisation paramétrique au service de la fabrication d'une architecture non standard. Elle interroge la nature de l'artefact architectural qui ne peut plus être circonscrit à sa seule réalité physique mais doit intégrer la pluralité dynamique des flux informationnels qui l'anime en temps réel et qui en constitue ainsi l'enjeu

« performantiel » et « expérientiel ». Elle questionne le statut des matérialités contemporaines aux prises avec les nanotechnologies impliquées dans la réalisation de « smart surface », de matières fonctionnalisées et d'architecture interactive. Elle permet enfin de réévaluer l'expérience sensible et esthétique de l'architecture de ce début de siècle tout autant que la construction du sens qui l'accompagne.

L'objectif principal de ces travaux porte sur l'expérimentation du processus de conception réalisation de dispositifs interactifs conçus à travers une instrumentation paramétrique et fabriqués à l'aide des machines numériques. Il s'appuie sur des connaissances et des ressources transdisciplinaires mises au service de la formation et de la recherche en architecture. À travers la conception et la réalisation de dispositifs architecturaux possiblement instrumentés, dispositifs induisant des interactions avec les usagers ou avec l'environnement physique et climatique, nous chercherons d'une part à valider des modalités de conception et de mise en œuvre, d'autre part à évaluer les comportements et les résistances des composants à l'ensemble des sollicitations et finalement à caractériser les modalités d'interaction humaine et de compréhension de ces dispositifs hybrides.

33 matériologie des nouvelles substances architecturales

tissage et textile tectonique

Il serait inutile de lister de manière exhaustive les utilisations qui sont et ont été faites des matériaux textiles en architecture. L'étude des recherches déjà effectuées nous fait prendre conscience du large spectre de fonctions que peut endosser le tissu ainsi que du grand nombre de positions qu'il peut adopter. Il ressort quelques invariants dans l'utilisation du textile. Les lignes qui suivent s'appuient majoritairement sur l'ouvrage très complet de Sylvie Krüger : *Textile Architecture*. Délimitation d'un espace social, que ce soit le but premier de l'élément textile mis en place ou secondaire, l'utilisation du tissu dans l'architecture délimite un espace. Il est à noter que cette fonction fut la première, avec l'isolation thermique, à justifier cette pratique. L'usage de voiles est bien souvent la matérialisation, même purement symbolique, d'une limite (sacré/profane dans les temples, de classe avec les dais pour les souverains, d'un espace intime pour les lits à baldaquin). La dimension sociale de ce matériau est donc une affaire de longue date. Le tissu n'est pas un matériau solide, il ne peut empêcher une entrée par effraction, il s'inscrit donc dans un code social au sein d'une population qui en connaît, même inconsciemment, les règles. Ceci est peut-être à mettre en rapport avec les modes de vie nomades qui, confrontés à la vie en espace construit réduit, doivent gérer ce genre de situation par des systèmes sociaux plutôt que physiques.

Le tissu a un caractère sensuel indéniable, mais lorsqu'il s'éloigne du corps, en prenant de plus grandes proportions, il perd cette dimension. D'autant qu'alors, il est mis à l'épreuve et ce sont ses caractéristiques mécaniques plus que sensibles qui sont exploitées. L'augmentation de l'échelle spécifie donc le tissu. Typiquement les textiles qui sont capables de couvrir de grandes portées sont inefficaces thermiquement, ils ne protègent que de la pluie et du soleil. Cela signifierait-il que chaque élément duquel on se protège aurait une échelle spatiale qui en découle ?

Semper énonce la théorie selon laquelle l'architecture serait née du tissage de branchages pour former des clôtures. Dans ce cas le tressage, par la rigidité des éléments qui le constituent est une structure autoportante. Puis, par l'évolution des matériaux utilisés, deux entités se dissocient : la structure et le revêtement. Celui-ci est alors coexible et ne peut se porter soi-même. Il a un point qui a tendance à être oublié, le tissu est alors considéré à tort comme un voile tellement léger que son poids en devient négligeable. Il n'en est rien. La structure est donc étroitement liée au tissu, elle doit être dimensionnée en conséquence. Le textile est souvent utilisé pour permettre une « coexibilité » des espaces. Mais une fois que le matériau textile a été enlevé que reste-t-il ? Une structure, même si elle ne supporte rien à un moment donné, joue-t-elle un rôle ? Quel est-il ? La structure ne finit-elle pas par exister pour elle-même ? C'est le cas par exemple des structures des baldaquins qui sont tellement soignés

que le tissu pourrait être relégué au second plan. Les deux éléments ne sont alors plus hiérarchisés et la structure peut même exister par elle-même générant aussi un espace seulement pas sa forme ou par la mémoire de l'enveloppe qu'elle supporte. Il vient aisément à l'esprit, lorsque l'on parle de système structure/enveloppe, des ensembles mouvants, c'est d'ailleurs exploiter intelligemment les propriétés du textile. Il ressort deux manières d'appliquer ce principe : soit le matériau textile se meut en utilisant la structure comme matrice fixe, soit c'est la structure qui se déforme et le textile suit ses mouvements. Parfois même la structure est elle-même portée par une structure primaire.

La tectonique des textiles nécessite l'invention d'une nouvelle technique de finition, par des méthodes de couture issues des technologies de la construction navale. Il est complètement plausible de concevoir des dispositifs architecturaux, en particulier des façades, de avec des éléments plus flexibles qui deviennent des « composants sensibles ». La façade textile peut respirer, absorber, isoler et protéger, tout en même temps. Elle permettrait à des propriétés fonctionnelles complexes et composées de coexister. Cette capacité à effectuer plusieurs tâches est spécifique à ce matériau, qui peut être très hétérogène dans la composition en raison de ses processus de fabrication unique. Sa réactivité et sa flexibilité est un attribut souhaitable qui peut avancer dans l'innovation architecturale.

Depuis la découverte des matières synthétiques dans les laboratoires de l'industrie chimique, le textile contemporain ne se laisse plus seulement identifier au toucher. D'ailleurs, les grands groupes chimiques américains, européens, et japonais se livrent à une compétition féroce à son sujet. On assiste à une surenchère sur les dénominations génériques des fibres synthétiques, avec une inflation d'appellations et de marques. L'étiquetage de composition préserve l'information sur la matière première, alors que la famille des fibres s'est considérablement élargie.

Par ailleurs, la fabrication de non-tissés trouve son origine dans les industries du textile, du papier, du plastique et du cuir, qui, pour répondre à un marché émergent, ont adapté leurs procédés et leurs matières premières. C'est dans les années 1960, avec l'apparition de l'industrie des fibres synthétiques et des polymères, que l'on voit l'essor de l'industrie des non-tissés.

Depuis fort longtemps les textiles ont été employés dans l'agriculture. Les « agrotextiles » sont utilisés pour l'irrigation, avec les textiles collecteurs d'eau, véritables capteurs de gouttelettes récupérant la vapeur d'eau pour l'arrosage des plantations dans les pays chauds.



Ils servent à la protection contre les oiseaux, les insectes, et ils permettent de réduire l'utilisation de pesticides. Aujourd'hui les produits utilisés sont principalement à base de Polyoléfine.

Le choix des matériaux est un point crucial de la conception des bâtiments durables, étant donné l'incidence du cycle de vie des produits. Ces matériaux génèrent des répercussions sur le plan de l'environnement lors de leur fabrication, de leur utilisation et de leur disposition en fin de vie. On estime que l'industrie de la construction consomme environ 40% du flux de matières à l'échelle mondiale.

Avec les contraintes liées au développement durable, les nouvelles normes dans l'habitation incitent les propriétaires à réaliser les travaux pour améliorer l'isolation thermique des murs et des toitures, mais aussi pour récupérer les eaux de pluie via des systèmes drainants. Les non-tissés, grâce à leur forte capillarité, leur coût de revient et leur vitesse de production, se prêtent particulièrement au drainage, contrairement aux anciens systèmes de type bâche en polypropylène. Pour l'isolation thermique ou acoustique, on utilise souvent des produits faits de non-tissés additionnés de polymères ou de produits bitumeux. Le non-tissé apporte ses qualités d'élasticité à l'ouvrage, tandis que le polymère assure la partie technique de la membrane. Le non-tissé a une meilleure isotropie par rapport à un tissé, ce qui facilite la pose du matériau sous charpente, qu'il soit agrafé ou cloué.

Les matériaux composites existent depuis des siècles. L'os et le bois sont des matériaux composites qui existent à l'état naturel. Les os sont constitués de fibres noyées et liées entre elles par des tissus qui assurent un rôle fonctionnel en distribuant les contraintes et en assurant la protection de la structure contre l'environnement extérieur.

capture de l'éphémère

L'architecture n'est pas seulement sur les éléments solides, matérielle de l'espace, c'est aussi sur les éléments invisibles, immatériels, intangibles de l'espace. Il convient donc d'examiner la conception, la représentation et la réception de l'éphémère dans l'architecture. Il examine comment les architectes capturent et examinent les qualités spatiales que ces éléments créent et se demande si, et si oui comment, ils les prennent en compte dans le processus de conception.

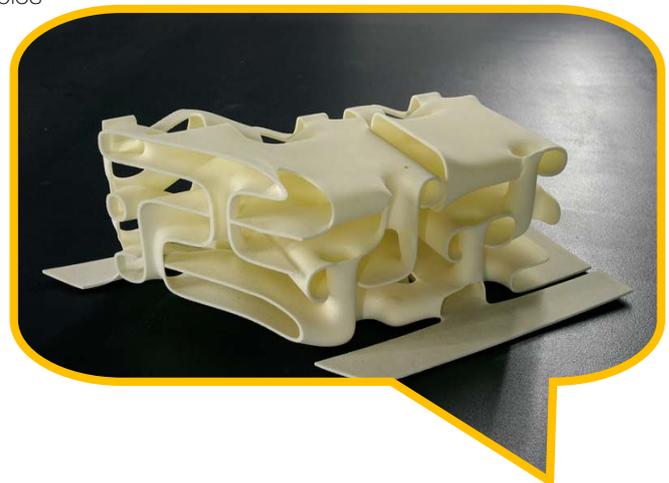
De nombreux projets nous font valoir que l'intérêt actuel dans l'éphémère dans la culture et l'architecture contemporaine est lié à l'évolution des médias numériques, et qu'il est lié aux nouvelles façons de penser l'espace et des situations quotidiennes que les nouveaux médias permettent. Avec les appareils de sonorisation et d'enregistrement vidéo maintenant embarqués dans les gadgets de tous les jours et les téléphones mobiles, les sons de capture ou de situations et d'événements éphémères sont devenus une habitude quotidienne. De nouvelles techniques

d'animation permettent aux concepteurs de penser à l'espace dans le temps, car ils sont capables de concevoir des espaces dynamiques et adaptés, ainsi que des espaces statiques explorés par quelqu'un au fil du temps. Jeux vidéo contemporains ne sont plus basés sur une entrée visuelle simple et un clavier, ils impliquent maintenant d'autres sens, le mouvement, et la réponse de l'ensemble du corps dans l'espace.

Les nouveaux matériaux peuvent fonctionner comme un nouvel outil à penser l'espace dans sa dimension temporelle. Les concepteurs sont maintenant en mesure de penser à travers le temps, les modifications qu'il suscite et ainsi de concevoir les espaces en conséquence. Temps, la temporalité, l'éphémère, deviennent des questions centrales dans le processus de conception. La notion d'abord prétendue par Marshall McLuhan dans les années 1960, que l'émergence de nouveaux médias numériques a causé un « changement d'approche sensoriel », est plus que jamais d'actualité, et peut être étendue pour accueillir les nouvelles technologies émergentes.

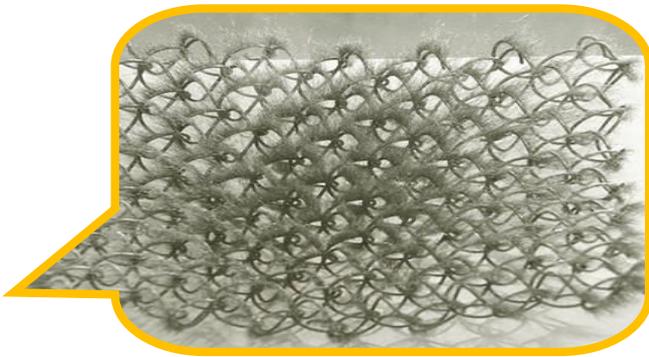
L'aide des technologies numériques, les concepteurs revendiquent l'architecture comme construction d'atmosphère susceptible, par l'expérience physique,

cognitive et émotionnelle qu'elle propose, de modifier la conscience perceptive que nous avons de l'espace. Elle se matérialise par des formes d'enveloppes dont la géométrie complexe favorise les connexions spatiales, visuelles et fonctionnelles. En témoigne la forme tortueuse du Fresh H2O Expo de Nox, au sein de laquelle le visiteur est immergé dans un espace souple interactif à l'ambiance aquatique et où la non distinction entre sols, murs et plafonds et l'absence d'horizontalité l'oblige à chaque instant à solliciter son système moteur pour rester debout. Les sols s'incorporent aux murs, les murs au plafond, le tout intégrant le visiteur dans des projections colorées, lumineuses, sonores et mouvantes. Si, pour Constant, la mobilité est le déplacement des individus qui entraîne la transformation de l'architecture, les constructions de Nox sont de la même façon étroitement liées à la mobilité de l'occupant, à sa vitesse et à ses mouvements : le rythme du déplacement affecte la « forme » du bâtiment, qui, en retour, active le corps dans un dialogue permanent. L'architecture considérée comme configuration matérielle aux repères stables est ainsi fondamentalement remise en cause au profit de la désorientation. En éliminant la division entre les planchers, les murs et les plafonds de la « Goethe House », laN+ génère un continuum spatial sans limite, en mutation constante, tel un organisme vivant qui se modèle en fonction des impulsions provoquées par ses habitants.



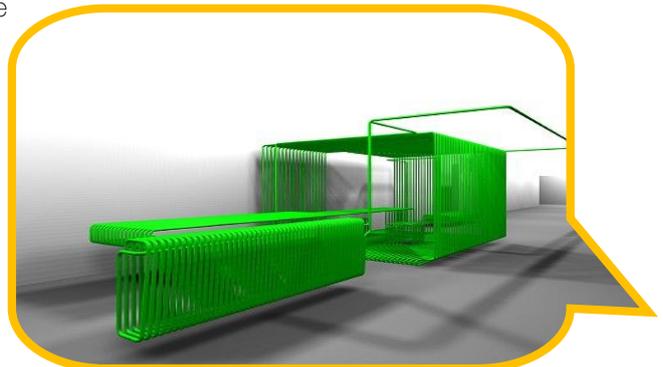
L'enveloppe, qui se substitue désormais à la paroi, s'envisage comme une surface active d'échange entre le programme, le contexte et la forme. C'est dans cette dynamique de relations et d'interférences que se développent des structures qui s'approprient un environnement global, nourri de champs d'énergie et de situations hétérogènes. C'est la surface en tant qu'enveloppe autonome, tel un carénage, qui crée l'espace architectural. Aussi constitue-t-elle pour Dagmar Richter l'élément transversal de tout le processus. Avec Maison « Dom-In(F) », Dagmar Richter « réinvente » la maison Domino de Le Corbusier en prenant en compte certains critères intégrés numériquement : l'atmosphère, la connexion, l'humidité, la température, la lumière, le recyclage, la flexibilité de l'équipement, etc. se substituent aux exigences d'origine et génèrent de nouvelles combinaisons de structure et d'organisation ainsi que des solutions alternatives de production industrielle.

Pour R&Sie(n), l'architecture ne peut résulter que d'un processus hybride avec son territoire. Avec « Dustyrelief/B-mu », musée d'art contemporain à Bangkok, François Roche exacerbe un contexte local repoussant, fait de tant de poussière que celle-ci finit même par modifier le climat de la ville. Il enveloppe la partie inférieure du bâtiment d'un grillage électrifié créant de la sorte un champ électrostatique, une peau vivante et active qui collecte une partie de la poussière de la ville polluée. Le musée, cette excroissance « naturelle » sortie du terrain, exacerbe jusqu'au paroxysme les conditions existantes. Ces potentialités du morphing,



largement explorées par R&Sie(n), nourrissent également la démarche de Kol/Mac que l'on peut qualifier de stratégie de fusion entre le bâtiment et son contexte. Les concepteurs procèdent par union digitale entre des éléments programmatiques et contextuels disparates. Dans la maison « Meta_HOM Estouteville », l'espace résulte d'un morphing entre les colonnes de la célèbre maison historique de Thomas Jefferson implantée sur le site et des aspects du paysage : sol et jardins fusionnent en courbes sinueuses et enveloppent l'habitant comme une seconde peau. Quant aux formes développées par Xefirotarch pour son projet « Busan Multi-Purpose Concert Hall », elles gardent du réel la fluidité des flots marins voisins et la circulation incessante imposée par le programme. Conçu comme une séquence d'entités urbaines interconnectées, ce que Xefirotarch nomme l'« effet d'archipel », le projet combine les possibilités de fluidité propres aux logiciels (les formes arrondies sont à la fois similaires et toutes différentes) à la continuité qu'il s'agit d'instaurer avec la situation urbaine existante.

Jean-Gilles Décosterd et Philippe Rahm réfutent également la réduction de l'architecture à une seule délimitation spatiale. Ils intègrent les conditions matérielles et physiques nouvelles du monde d'aujourd'hui, ces données invisibles créées par les rayonnements électromagnétiques. Ils pensent l'air, l'espace ou la lumière en termes d'énergie, d'échanges physiques,



biologiques, climatiques, électromagnétiques et chimiques entre l'environnement et notre organisme. Dans leur projet « Lucy Mackintosh Contemporary Art Gallery », les différentes pièces sont définies, non plus en termes de séparation, mais selon des variations thermiques : il s'agit de donner forme à l'espace par radiation, de cloisonner par conduction, d'agencer par convection. L'architecture est ainsi pensée comme un « matériau plastique » modifiable, transitoire ou prête à se dissoudre. En témoigne le travail de Servo qui module un espace physiquement programmé : « Lobbi-Ports » se présente sous forme de grands panneaux d'informations multiples accrochés aux façades des hôtels. Cette « architecture virtuelle », composée d'éléments mixtes physiques et digitaux en modification permanente est intégrée à l'ensemble de la surface par le biais de panneaux LED accrochés à des vitres transparentes bleues. Servo oppose aux rythmes programmés des structures un réseau de capteurs qui perturbe sans cesse le système d'exposition visuelle. Ici, l'architecture est un territoire flou dont les frontières entre mondes physique et numérique sont rendues plus perméables et incertaines. De la même manière, en survolant Hydra Pier près de l'aéroport d'Amsterdam, les passagers d'un avion découvrent une structure réfléchissante dont le flux continu de l'eau sur le toit « liquéfie » la structure dans son environnement aqueux, la faisant quasiment disparaître ou plutôt la laissant apparaître comme une possibilité de forme réelle. Ici, Asymptote fait tendre la réalité vers le virtuel et non l'inverse.

De même, l'« Ikon Tower » de Tom Kovac s'avère littéralement une « icône » informatique tangible, incarnée, dont la surface/écran à la transparence nuancée scintille de maints éclats variables grâce au réseau de fibres optiques qui traversent sa surface ; tout changement de l'environnement, tant extérieur qu'intérieur, y est lu de manière digitale puis interprété en modulations lumineuses. Itsuko Hasegawa, en cherchant à relier le corps humain à l'environnement, tente de créer une « nature artificielle ». Son architecture, véritable « machine poétique », matérialise les rapports complexes entre l'homme et la nature. Le Yamanashi Museum of Fruit se dote de trois structures principales différemment arrondies réparties, telles des graines, suivant l'image métaphorique du fruit à divers stades de sa croissance. Chacun des trois volumes transparents rythmés de poutres, désigne la représentation d'ordinateur en gardant trace, dans le bâtiment construit, du maillage triangulé obtenu par traitement informatique. « Ecoscape » de OpenSource



cherche également à faire de l'architecture une nature, fondée sur des mécanismes, des méthodologies et des processus naturalistes. La surface d'« Ecoscape » constituée de cellules photovoltaïques ou celle de « Hylomorphic » évoluent selon un certain nombre de paramètres, entités vitales, elles agissent mais réagissent aussi aux conditions changeantes, tout en configurant la forme architecturale. Le travail d'EZCT interroge les relations qui existent entre calcul et architecture. Les nouvelles technologies génétiques et leurs potentialités déterminent pour eux un champ de recherche conceptuelle essentiel.

La « New Babylon » de Constant révélait un monde sans limite proliférant tout autour de la planète. Conçue à partir de « situations » et d'« atmosphères », elle privilégiait la

désorientation, l'arrachement du sol, le jeu, le changement créateur. A l'instar des ambiances mouvantes de Constant, les nouveaux matériaux peuvent servir à affirmer la perte d'ancrage d'un espace désormais altéré.

matérialisation de la nanotechnologie

Imprimer des tissus vivants comme on imprime un objet ou un textile. L'initiative paraît folle. Elle est pourtant étudiée très sérieusement par plusieurs laboratoires.

En 2004, trois scénaristes américains avaient imaginé l'histoire de pensionnaires enfermés dans une clinique spécialisée découvrant peu à peu qu'ils étaient des clones de personnalités riches et célèbres. Des « polices d'assurance » vivantes, dont on prélevait les organes en fonction des besoins du client. Dix ans après le film « The Island » de Michael Bay, on est loin du scénario d'humains clonés à la pelle. Mais on sait imprimer des bouts d'organes à partir d'organismes vivants par des techniques d'impression 3D.

Le principe est d'assembler couche par couche des cellules vivantes jusqu'à la formation d'un tissu biologique. Depuis cinq ans, la « bioprinting » fait fantasmer tous les laboratoires pharmaceutiques. Les perspectives d'une telle technologie sont démentes : reconstruction tissulaire, test de médicaments et réduction de l'expérimentation animale. A terme, la promesse d'une médecine entièrement individualisée, où l'on pourra fabriquer du tissu à partir des cellules du patient, pour sélectionner « in vitro » les traitements, développer des solutions thérapeutiques personnalisées en fonction du patrimoine génétique des patients, réduire les réactions de rejets et produire des greffons artificiels.

Jusque-là, la première technique testée au Japon et aux Etats-Unis était l'impression à jet d'encre vivante, qui fonctionne exactement sur le même principe des imprimantes 3D classiques. Malheureusement, nous nous sommes rendu compte que les contraintes techniques étaient telles qu'elles déformaient les cellules et portaient atteinte à leur viabilité. D'autres technologies ont depuis été développées comme la bio-extrusion, qui permet de déposer les cellules via des pousse-sérings selon des motifs préétablis et l'éjection de cellules par ondes acoustiques, une technique développée au MIT et la bioimpression laser. Concrètement, on étale notre encre biologique sur une lame de microscope puis on focalise le laser sur cette lame. On programme ensuite le laser pour envoyer des impulsions qui vont induire la formation de jets de mini-gouttelettes d'encre contenant des cellules, qu'on dépose ensuite, couche après couche. L'avantage de cette technologie, c'est qu'elle permet d'obtenir des encres de cellules très concentrées, ce qui favorise une meilleure communication entre elles.

La plupart de ces nouvelles propriétés tiennent au fait que lorsque l'on divise un objet en parties plus petites, on augmente le rapport entre la surface totale de l'objet et son

volume. Songeons à une boîte parallélépipédique de sucres en morceaux : la surface des parois de la boîte est beaucoup plus petite que la somme des surfaces de chacun des morceaux de sucre présents dans la boîte. Diviser un corps, c'est donc bien augmenter sa surface externe relativement à son volume. Cette opération, effectuée sur un morceau de matière, accroît donc ses potentialités d'interactions physiques ou chimiques avec son environnement, ce qui le rend plus réactif. Du fait de ce phénomène, tous les éléments chimiques classés dans le tableau périodique avec des propriétés physiques et chimiques bien connues peuvent être revisités à l'échelle du nanomètre et y exhiber de nouvelles propriétés.

Aux échelles micro et nanoscopiques les possibilités d'instrumentation et de fabrication de matériaux sur-mesure, aux propriétés spécifiques, induisent une redéfinition des modalités de conception, de gestion et d'exploitation dans une dynamique pluridisciplinaire à l'égal de ce qui s'opère aux échelles mésoscopique de l'objet ou macroscopique de la ville.

Les matériaux instrumentés d'électronique ouvrent la voie à la conception d'objets comme d'infrastructures dotés de nouvelles perspectives fonctionnelles, souvent plurielles. La matière devenant fonctionnelle à travers la spécification et la qualification de ses propriétés ouvrent des perspectives de rationalisation et de performance dans une triple logique d'optimisation socio-économique et d'efficacité d'usage et de qualité d'expérience.

le vivant

L'impératif écologique, aujourd'hui irréfutable, appelle une reconfiguration urgente de l'urbain, qui dépasse le « biomimétisme » généralisé où la végétalisation excessive et esthétisante reconduit un idéal de nature depuis longtemps disparu. Au contraire, l'architecture verte invente désormais une nouvelle écologie, au sein de laquelle le naturel est technicisé pour permettre une gestion holistique des ressources et une autorégulation des flux biologiques, énergétiques et démographiques. Un nouvel habitat urbain apparaît à la jonction du local et du global : les architectes fusionnent les échelles territoriales, au croisement du bâti et du connecté, du sauvage et du maîtrisé. L'auto-construction, prônée dans les années 1970, trouve une actualité particulière dans les contextes d'urbanisation spontanée. Des dispositifs énergétiques alternatifs impulsent de nouveaux cycles physiques et sociaux à l'échelle du grand territoire, dessinant un « paysage de transitions ».

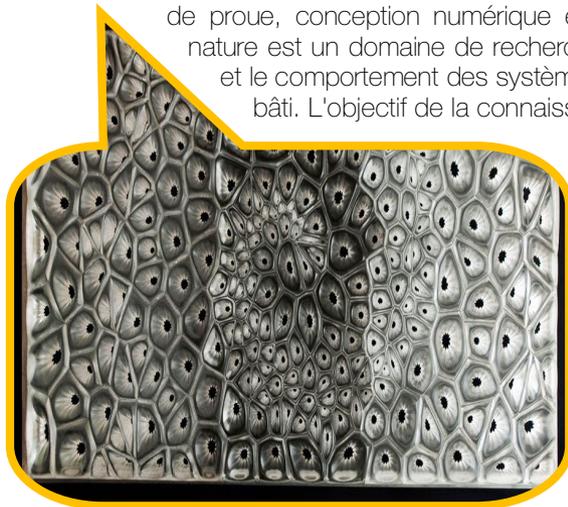
Le rapprochement entre l'informatique et la biologie va progressivement accoucher d'un nouveau champ transdisciplinaire qui va envisager une communauté de langage entre la nature et l'informatique. L'idée de code, génétique ou informatique, devient centrale dans l'apparition des formes naturelles et artificielles: les informations portées par le code, les « données », sont croisées et combinées selon des formules mathématiques, les algorithmes. L'apparition des outils de conception assistée par ordinateur permet désormais la création numérique de formes en manipulant des

paramètres, c'est-à-dire en apportant des modifications dans le code qui seront ensuite traduites en représentations virtuelles. Si la plupart des architectes contemporains utilisent l'informatique en lieu et place du dessin, certains, comme Evan Douglis, Biothing ou Theeverymay, s'attachent plus particulièrement à la rédaction de « scripts », des formules de code qui calculeront et engendreront des formes architecturales biomorphiques.

Cette analogie entre code génétique et code informatique se traduit par l'apparition de modèles et de théories à la croisée des sciences génétiques et mathématiques. Utilisés aujourd'hui par certains architectes, les algorithmes évolutionnaires sont une des résultantes de cette imbrication entre disciplines. Ils s'inspirent de la théorie de l'évolution afin de proposer des populations de formes qui évoluent de génération en génération au fur et à mesure de croisements entre « individus » pour s'adapter à certaines contraintes. L'agence d'architecture EZCT emploie ces algorithmes évolutionnaires afin de définir une chaise (Chair model T1-M, 2004) qui répond à certains paramètres (s'asseoir, s'appuyer...). Dans le projet pour la baie de Busan, en Corée (Busan Multipurpose Concert Hall, 2005), Xefirotarch fait appel là aussi aux algorithmes évolutionnaires pour engendrer les formes mouvantes et fluides des différents pavillons.



Avec Neri Oxman, responsable du Material Ecology Design Lab du MIT, comme figure de proue, conception numérique et les technologies de fabrication inspirée par la nature est un domaine de recherche émergent qui exploite les principes, la logique et le comportement des systèmes naturels dans la conception de l'environnement bâti. L'objectif de la connaissance est de fournir une compréhension basée sur



la recherche de la façon dont ces processus se produisent dans la nature et de trouver leur traduction dans la conception de l'artificiel. La recherche fournit une base de connaissances pertinentes dans la conception et la fabrication numérique biologiquement inspiré par une introduction aux théories du biomimétisme. Cette recherche se concentre sur divers processus matériels tels que le tissage, le pliage et superposition dans les micros et macros échelles. Ils revisitent la logique formelle, comportement mécanique, et les impacts environnementaux d'une gamme de matériaux

naturels et synthétiques ainsi que les moyens permettant de les façonner, inhérente à leurs propriétés physiques. Grâce à des expérimentations physiques et numériques sous forme d'enquête, les relations entre les matériaux et leurs procédés de mise en forme de la génération de la forme sont explorés. De nouvelles méthodes de fabrication inspirées par la nature et de reconsidérer la façon dont les choses sont conçus et fabriqués sont en cours d'invention.

animation, mouvement, dynamique et flux

« Animation » est un terme qui diffère de « mouvement », bien qu'ils soient souvent confondus. Alors que le mouvement renvoie au déplacement et à l'action, l'animation renvoie à l'évolution d'une forme et aux forces de sa génération, elle suggère l'animisme, la croissance, l'actuation, la vitalité et la virtualité. Dans ses implications multiples, l'animation touche à quelques-unes des hypothèses les plus profondément ancrées de l'architecture concernant sa structure. Ce qui rend l'animation si problématique pour les architectes, c'est qu'ils ont conservé une éthique de la statique dans leur discipline. Plus encore que leur rôle traditionnel de procurer un abri, les architectes sont censés proposer une culture de la « stasis ». En raison de son attachement à la permanence, l'architecture est un des derniers modes de pensée basés sur l'inerte. Contester ces hypothèses en introduisant l'architecture à des modèles d'organisation non inertes ne menacera pas l'essence même de la discipline, mais la fera évoluer.

Tout comme l'élaboration du calcul a fait appel aux développements mathématiques qui l'ont historiquement précédé, une approche animée de l'architecture subsumera les modèles statiques traditionnels dans un système plus avancé d'organisations dynamiques, comme sous-ensemble. Une approche animée de l'architecture pourrait s'appliquer à la conception et à la création, tandis que des outils plus conventionnels restent en vigueur pour la modélisation et la fabrication. Traditionnellement, en architecture, l'espace abstrait de la création se conçoit comme un espace neutre idéal, aux coordonnées cartésiennes. Dans d'autres domaines du design, toutefois, l'espace conçu s'entend comme un environnement de forces plutôt que comme un vide neutre et inerte. Dans l'architecture navale, par exemple, l'espace abstrait du design s'imprègne de propriétés telles que le flux, la turbulence, la viscosité et la résistance, de sorte que la forme particulière d'une coque est pensée en fonction de son déplacement dans l'eau. Bien que la forme de la coque d'un bateau soit étudiée en mouvement dans un espace abstrait doté de propriétés, on ne s'attend pas à ce que la forme de la coque littéralement se déplace.



De même, une éthique du mouvement n'implique pas que l'architecture soit à proprement parler mobile, ni qu'elle exclue un mouvement réel. Les contours et les profils d'une forme peuvent être dessinés par une collaboration entre une enveloppe et le contexte actif dans lequel elle se situe. Tandis que la forme physique peut se définir en termes de coordonnées statiques, la force virtuelle de l'environnement dans lequel elle est conçue devrait aussi participer à sa génération. De cette manière, la topologie permet non seulement l'incorporation d'un moment unique, mais plutôt d'une multiplicité de vecteurs, donc d'une multiplicité de temps,

dans une seule surface continue.

La disponibilité et la colonisation rapide de la création architecturale par des techniques assistées par ordinateur offrent à la discipline une autre opportunité de se « ré-outiller » et de se repenser, comme ce fut le cas lors de l'avènement de la projection stéréométrique et de la perspective. Si l'on doit adopter un seul concept face à la prolifération de formes topologiques et d'outils informatisés, c'est celui qui veut que, dans leur structure de machines abstraites, ces technologies soient animées.

Pour un bâtiment de bureaux situé à Utrecht, l'agence d'architecture néerlandaise Cepezed et l'artiste Ned Kahn ont imaginé une façade se transformant sous l'action du vent. Cette façade est constituée d'un maillage d'acier inoxydable de 300m² sur lequel sont fixés de petits disques de plastique transparents. Quand le vent se lève, les disques frémissent et cette seconde peau entre en vibration, captant la lumière du soleil et reflétant le ciel de manière changeante. Comme des pixels, ces points lumineux dessinent autant de motifs sur une façade-écran sans cesse recomposée.



Conclusion

La conception de la ville 2.0, ville interconnectée, évolue à travers les démarches de ses concepteurs, de ses opérateurs, de ses promoteurs et de ses usagers. Les dispositifs interactifs aux échelles urbaines ou architecturales sont désormais des systèmes communicants, des dispositifs de médiation, des objets relationnels, ouvrant la voie à de nouvelles matérialités, de nouvelles fonctionnalités et performances.

Les enjeux de développement durable pour lesquels les technologies sont sollicitées afin d'optimiser les espaces et les ressources des villes favorisent de nouveaux processus météorologiques dans les méthodes de formalisations et dans les modalités de gestion de la ville en lien avec les nouvelles pratiques territoriales émergentes qui ouvrent la voie à de nouveaux équilibres socio-économiques.

Les enjeux technologiques d'interconnexion des éléments urbains, d'interopérabilité des systèmes qui composent la ville et l'architecture, de développement d'infrastructures et d'outils communicants seront explorés sur la base de retours d'expérimentation et de projets exploratoires.

La continuité informationnelle offerte par les technologies opère une redéfinition des logiques d'appréhension des différentes échelles de l'enjeu architectural, de la ville et de ses éléments constitutifs, au profit d'une pensée systémique. A travers les innovations et évolutions technologiques il semble que l'on passe d'une pensée de la planification urbaine à une réalité de co-expérimentation des potentiels d'interaction hommes/environnements, qui entraîne une révolution sociétale.

Les questions portent sur les enjeux et pratiques innovantes que permettent les nouvelles technologies en matière d'architecture numérique, en les considérant à travers le prisme des modalités de conception, de réalisation et de fabrication. La rencontre questionne les nouvelles formes de spatialité, les nouvelles pratiques tout autant que les nouvelles modalités perceptives associées aux situations interconnectées dans lesquelles nous plongeons les dispositifs architecturaux interactifs.

A travers son rapport à l'information, l'architecture utilisatrice des technologies, pourrait trouver une redéfinition de sa nature en tant que discipline hybridant des réalités numériques, physiques, sensibles, économiques et sociales. L'architecture paramétrique, les processus génératifs, le continuum conception/fabrication représentent de nouveaux modes de matérialisation intégrant les nouvelles technologies.

Ce renouvellement des modalités d'émergence de la forme architecturale dont les attributs spatiaux s'évaluent en terme de performance contextuelle et

environnementale, de qualité informationnelle et de niveau d'interactivité, engage des reconfigurations des outils et des méthodes expérimentations tant au plan de l'usage ordinaire et quotidien de l'architecture que de son appréhension esthétique et émotionnelle.

L'évolution des métiers de la conception du cadre bâti qui tendent vers une pratique nécessairement pluridisciplinaire implique une traduction des savoirs, une intégration de compétences pluralisées (ingénieur, architecte, urbaniste,...), une réalisation stratégique de convergence énergétique et environnementale ainsi que de nouvelles formes de matérialité. Ces caractéristiques sont autant de composantes inhérentes aux nouvelles pratiques de la conception qu'il serait intéressant de développer.

L'approche ludique et le plaisir d'expérimenter la matière peut enrichir l'architecture. L'attrait de la nouveauté joue ici un rôle central. Tout architecte l'a expérimenté. Les architectes doivent chercher, à travers le choix des matériaux, l'innovation capable de donner un caractère unique à leur bâtiment. Celle-ci offre des possibilités toujours plus grandes. En effet, la diversité des matériaux et leur emploi décalé, le franchissement des limites de la technique, l'abus conscient ou l'importation depuis des champs d'application étrangers à la construction sont les moyens stylistiques d'aujourd'hui.

Les propriétés touchant à la perception sont expliquées afin de donner des repères dans ce monde physique et sensible. La perception parvient à l'homme par d'autres canaux sensoriels que ceux de la vue. À lui seul, ce constat permet d'affirmer que la matérialité recouvre davantage que la nature physique d'une surface. La matérialité est alors entendue comme l'état d'un corps constitué de matière, doté d'une substance matérielle mais est aussi perçu comme une texture et une corporéité. La matérialité résulte donc du matériau, les divers aspects de la matière forment là un tout.

Dans le contexte de l'évolution culturel et sociétal actuel, nous pouvons nous demander comment le matériau peut jouer un rôle décisif dans l'apparence et l'expressivité d'un bâtiment. Élément indispensable à l'architecture, il est avant tout un médiateur entre les hommes, leurs bâtiments et leurs environnements locaux. Le matériau peut nous apporter bien plus que de renseigner sur la construction, sur sa structure et sa fonction.

Les surfaces spatiales que représentent les façades sont perçues par les sens, elles éveillent des sensations. Le doit être une peau capable de capter, de sentir, de ressentir, d'échanger. Sa matérialité ouvre la vie interne d'un bâtiment vers l'extérieur.

Le choix d'un dispositif matériologique doit intégrer les problématiques socioculturelles, esthétiques, et fonctionnelles et permet de trouver le type de langage architectural communiquant adéquatement avec son environnement local. L'interaction permanente entre l'espace urbain, les constructions, les espaces naturels et les installations permet de capter, comprendre, d'agir et de résoudre les problématiques local en temps réel. Le territoire devient ainsi un métabolisme.

Il convient avant tout donc d'aborder, d'explorer et d'expérimenter les caractéristiques physiques de la matière et des matériaux. Il ne s'agit pas d'en dresser un inventaire exhaustif de champs des possible mais se concentrent sur des potentiels esthétiques et médiatique essentielles pour la conception architecturale et la perception future du bâtiment. A travers les leçons que nous donne la Nature, l'accent doit être mis sur l'emploi raisonné de la matérialité et la capacité des possibilités qui en découlent pour la création architecturale à répondre à de nouveaux enjeux et de nouvelles problématiques sociologique et environnementales.

Bibliographie

Alisa Andrasek, Biothing, éditions HXX, 2009.

Philippe Bordas, L'invention de l'écriture, éditions Fayard, 2010.

Gail Peter Borden et Michael Meredith, Material Matters: making architecture, West Fall Conference Proceedings, 2008.

Marie-Ange Brayer, Frédéric Migayrou, Franck Varenne, Giuseppe Longo et Nabil Zakhama, Rivka Oxman, Annick Lesne, Graham Harman, Lambros Malafouris, Naturaliser l'architecture, éditions HXX, 2013.

Yves Bréchet, La science des matériaux : du matériau de la rencontre au matériau sur mesure, éditions Librairie Arthème Fayard et Collège de France, 2013.

Dieter Bogner, A friendly alien - Kunsthau Graz - Peter Cook et Colin Fournier, éditions Erschienen im, 2004.

Mark Burry, Scripting Cultures - Architectural Design and Programming, collection AD Primers, éditions Wiley, 2011.

Bernard Cache, Terre meuble, édition HXX, 1997.

Edward-Tatnall Canby, Histoire de l'électricité, éditions Rencontre, 1964.

Helen Castle, Bob Sheil, Jonathan Hill, Nat Chard et Mark Burry, Design through making, collection AD Primers, éditions Wiley, 2005.

Valérie Châtelet, Dominique Rouillard, Denise Pumain, Laurent Perrin, Carlos Ratti, Daniel Berry, David Gerber, Gerhard Schmitt, Jeffrey Huang, Muriel Waldvogel, Ted Ngai, Philippe Morel, Interactive cities, collection Anomalie digital_arts, n°6, éditions Hxx, 2006.

Anne-Marie Christin, Histoire de l'écriture : De l'idéogramme au multimédia, éditions Flammarion, 2012.

Marcos Cruz et Steve Pike, Neoplastic design, collection AD Primers, éditions Wiley, 2008.

Mike Davis, Au-delà de Blade Runner - Los Angeles et l'imagination du désastre, collection petite collection, éditions Allia, 2014.

dECOi architects, Fran Autoplastic to Alloplastic, éditions HXX, 2001.

Andrea Deplazers, Construire l'architecture - du matériau brut à l'édifice - un manuel, Birkhäuser Basel, 2013.

Umberto Eco, Le signe - Histoire et analyse d'un concept, collection Livre de poche biblio essais, n° 4159, éditions Labor, 1992.

Maurice Fabre, Histoire de la communication, éditions Rencontre, 1964.

Patrice Flichy, Une histoire de la communication moderne, collection Sciences humaines et sociales N°24, éditions La Découverte, 2004.

Mark Frauenfelder, L'ordinateur : Une histoire de l'informatique, éditions Gründ, 2006.

Richard Garber, Closing the Gap - Information Models in Contemporary Design Practice: Architectural Design, collection AD Primers, éditions Wiley, 2009.

Mark Garcia, Architextiles, collection AD Primers, éditions Wiley, 2006.

Mark Garcia, *The Patterns of architecture*, collection AD Primers, éditions Wiley, 2011.

Mark Garcia, *Future details of architecture*, collection AD Primers, éditions Wiley, 2014.

David Gissen, *Territory: Architecture beyond environment*, collection AD Primers, éditions Wiley, 2010.

Fabio Gramazio, Matthias Kohler, *Digital materiality in architecture*, éditions Lars Muller publishers, 2008.

Fabio Gramazio, Matthias Kohler, Jan Willmann, *The Robotic Touch - How Robots Change Architecture*, éditions Park Books, 2015.

Michael Hensel, Achim Menges, et Michael Weinstock, *Techniques and technologies in morphogenetic design*, collection AD Primers, éditions Wiley, 2006.

Kevin Kelly, *Out Of Control*, éditions Perseus Books, 1995.

Rem Koolhaas, Bruce Mau, S, M, L, XL, éditions Monacelli Press, 1998.

Rem Koolhaas, Stefano Boeri, Kwinter Sanford, Nadia Tazi, Hans Ulrich Obrist, *Mutations*, éditions Actar, 2000.

Rem Koolhaas, *New-York Delire, Un manifeste rétroactif pour Manhattan*, éditions Parenthèses, 2002.

Rem Koolhaas, *Content*, collection Varia, éditions Taschen, 2004.

Rem Koolhaas, *Junkspace, Repenser radicalement l'espace urbain*, éditions Payot, 2011.

Daniel Kula et Elodie Ternaux, *Materiology - Matériaux et technologies : l'essentiel à l'usage des créateurs*, éditions Frame Publishers Amsterdam et Birkhäuser Basel, 2013.

Neil Leach, *Digital cities*, collection AD Primers, éditions Wiley, 2009.

Eric Lebègue et Olivier Celnik, *BIM et maquette numérique : Pour l'architecture, le bâtiment et la construction*, Collection Blanche BTP, éditions Eyrolles, 2014.

Adolf Loos, *Ornement et crime*, collection Rivages poche, éditions Rivages, 2015.

Greg Lynn, *Animate Form*, éditions Princeton architectural press, 1999.

Scott McQuire, *The Media City: Media, Architecture and Urban Space*, éditions Sage Publications 2010.

Frédéric Migayrou, *Architectures non standard*, Editions du Centre Pompidou, 2003.

Laszlo Moholy-Nagy, *Du matériau à l'architecture*, éditions de La Villette, 2015.

Farshid Moussavi et Michael Kubo, *The Function of Form*, éditions Actar, 2006.

Farshid Moussavi et Michael Kubo, *The Function of Ornament*, éditions Actar, 2006.

Rivka Oxman et Robert Oxman, *The new structuralism: design, engineering and architectural technologies*, collection AD Primers, éditions Wiley, 2010.

Rivka Oxman et Robert Oxman, *Theories of the Digital in Architecture*, éditions Routledge, 2013.

Antoine Picon, *Smart cities - Théorie et critique d'un idéal auto-réalisateur*, collection Actualités, éditions B2, 2013.

Antoine Picon, *Ornament - The politics of architecture and subjectivity*, collection AD Primers, éditions Wiley, 2013.

Antoine Picon, *La ville des réseaux - Un imaginaire politique*, collection Modélisations des imaginaires, éditions Manucius, 2014.

Jean-Claude Prinz et Olivier Gerval, *Matières et Matériaux*, éditions Eyrolles, 2012.

- R&Sie(n)+D, François Roche, Stéphanie Lavaux, Jean Navarro avec Benoît Durandin, I've heard about... , éditions Paris-Musées, 2005.
- R&Sie(n)+D, François Roche, Stéphanie Lavaux, Jean Navarro avec Benoît Durandin, 2050/bitterness - Non sans amertumes, collection Gris, éditions Mix, 2007.
- Jeremy Rifkin, La troisième révolution industrielle - Comment le pouvoir latéral va transformer l'énergie, l'économie, et le monde, collection Babel, n°1212, éditions Actes sud, 2013.
- Axel Ritter, Smart Materials - In architecture, interior architecture and design, éditions Birkhauser Verlag AG, 2006.
- Philippe Roose, L'âge d'or... : Histoire des micro-ordinateurs, éditions Cépaduès, 2005.
- Jaime Salazar, Connection, collection Verb, éditions Actar, 2005.
- Jaime Salazar, Albert Ferré, Ramon Prat, Tomoko Sakamoto, Anna Tetas, Matters, collection Verb, éditions Actar, 2006.
- Jaime Salazar, Albert Ferré, Tomoko Sakamoto, Anna Tetas, Manuel Gausa, Processing, collection Verb, éditions Actar, 2006.
- Thomas Schröpfer, Material Design – Informing Architecture by Materiality, éditions Birkhäuser Basel, 2011.
- Gottfried Semper, Style in the Technical and Tectonic Arts, Getty Publications, éditions 2006.
- Gottfried Semper, The Four Elements of Architecture and Other Writings, éditions Reissue 2011.
- Mike Silver, Programming cultures: architecture, art and science in the Age of software development, collection AD Primers, éditions Wiley, 2006.
- Bernard Stiegler, Yann Moulier Boutang, Alain Cadix, Le design de nos existences - A l'époque de l'innovation ascendante, Collection Essai, éditions Mille et une nuits, 2008.
- Ben Van Berkel, Caroline Bos, UNstudio - Move - Imagination, Techniques, Effects, éditions UNStudio et Goose Press, 2008.
- Robert Venturi, Denise Scott Brown et Steven Izenour, L'enseignement de Las Vegas, Collection Architecture Ville et paysage, éditions Mardaga, 2008.
- Henri Verdier et Yannick Lejeune, Big Fast Open Data. Décrire, décrypter et prédire le monde : l'avènement des données, Collection Innovation, éditions FYP, 2014.
- Richard Weston, Formes et matériaux dans l'architecture, éditions Seuil, 2003.

Liens internet

<http://books.openedition.org/cdf/2287?lang=fr>

Livre « La science des matériaux : du matériau de rencontre au matériau sur mesure » de Yves Bréchet

<http://www.iaac.net/>

Institute for advanced architecture of Catalonia

<http://www.materialconnexion.com/>

Centre de ressource sur les matériaux innovants.

<http://www.materio.com/>

Centre de ressource sur les matériaux innovants.

<http://kk.org/mt-files/books-mt/oc-mf.pdf>

Livre « Out of Control » de Kevin Kelly

<http://cita.karch.dk/>

Centre for Information Technolog and Architecture

<http://www.media.mit.edu/>

MIT media Lab

<http://senseable.mit.edu/>

MIT sensible city lab

<http://www.bartlett.ucl.ac.uk/casa>

The Bartlett Centre for Advanced Spatial Analysis

<http://www.bartlett.ucl.ac.uk/space-syntax>

The Bartlett Space Syntax Laboratory

<http://www.materialecology.com/>

Blog de Neri Oxman