

MATÉRIAUX et
ARCHITECTURE
DURABLE

Tout le catalogue sur
www.dunod.com



ÉDITEUR DE SAVOIRS

Nadia Hoyet

MATÉRIAUX et
ARCHITECTURE
DURABLE

FABRICATION ET TRANSFORMATIONS
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET ARCHITECTURALES
APPROCHE ENVIRONNEMENTALE

ÉDITION ENRICHIE
DES MATÉRIAUX BIOSOURCÉS

DUNOD

Couverture : Maud Warg
Maquette intérieure : Marie Léman
Mise en page : PCA
Cartographie : Fabrice Weexsteen
Réalisation des schémas : Raphaëlle Balazot et PCA

<p>Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.</p> <p>Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements</p>	<p>d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.</p> <p>Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).</p>
--	--



© Dunod, 2013, 2017
11, rue Paul Bert, 92240 Malakoff
ISBN 978-2-10-076024-4

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Sommaire

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

Les matériaux et le projet architectural.....	7	Propriétés physiques des matériaux dans la construction.....	20
Comportement des matériaux dans l'architecture.....	12	Comportement environnemental.....	24
		Et le BIM?.....	29

CHAPITRE 2 LE BOIS

Repères historiques.....	32	Propriétés physiques	55
Élaboration et mise en œuvre.....	38	Approche environnementale.....	58
Propriétés architecturales et constructives.....	52		

CHAPITRE 3 MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

Généralités	63	Transformation	71
De forts atouts	63	Applications	72
Normalisation en cours	64	Le miscanthus	72
Une filière qui s'organise	65	Description et mode de culture	72
Matière première : des fibres végétales	66	Utilisations	73
Les principales familles de produits manufacturés	66	La paille	74
Le chanvre	67	Présentation.....	74
Présentation.....	68	Techniques constructives.....	75
Processus de transformation.....	68	Le bambou	77
Applications	69	Présentation et spécificités	77
Le lin	71	Propriétés physiques	79
Présentation.....	71	Transformation et applications	79

CHAPITRE 4 L'ACIER

Repères historiques.....	81	Propriétés physiques	103
Élaboration et mise en œuvre.....	87	Approche environnementale.....	106
Propriétés architecturales et constructives.....	99		

CHAPITRE 5 LES BÉTONS ET LES AUTRES LIANTS HYDRAULIQUES

Le béton	109	Les chaux naturelles	132
Repères historiques.....	109	Les chaux artificielles (HL)	133
Élaboration et mise en œuvre.....	114	Le plâtre	134
Propriétés architecturales et constructives.....	124	Fabrication	134
Propriétés physiques	128	Mise en œuvre.....	135
Approche environnementale.....	129	Propriétés	137
La chaux	132		

CHAPITRE 6 LES ROCHES NATURELLES: PIERRES ET TERRES

La pierre	139	Propriétés architecturales et constructives.....	156
Repères historiques.....	139	Propriétés physiques	157
Élaboration et mise en œuvre.....	142	Approche environnementale.....	158
Propriétés architecturales et constructives.....	146	La terre cuite	160
Propriétés physiques	148	Repères historiques.....	160
Approche environnementale.....	149	Élaboration et mise en œuvre.....	162
La terre	151	Propriétés architecturales et constructives.....	166
Repères historiques.....	151	Propriétés physiques	168
Élaboration et mise en œuvre.....	152	Approche environnementale.....	168

CHAPITRE 7 LE VERRE

Repères historiques.....	171	Propriétés physiques	185
Élaboration et mise en œuvre.....	175	Approche environnementale.....	187
Propriétés architecturales et constructives.....	180		

CHAPITRE 8 LE CAS PARTICULIER DES POLYMÈRES

Repères historiques.....	191	Propriétés physiques	205
Élaboration et mise en œuvre.....	194	Approche environnementale.....	207
Propriétés architecturales et constructives.....	201		

CONCLUSION	211
-------------------------	-----

CRÉDITS	217
----------------------	-----

INDEX	219
--------------------	-----

Introduction

La mise en œuvre des matériaux dans l'architecture inscrit physiquement le bâtiment dans son contexte social et culturel. Elle satisfait aux usages pour une économie donnée et assure la solidité de l'édifice. Cette définition première de la mise en œuvre des matériaux de construction s'accompagne désormais d'un nouvel objectif destiné à répondre aux enjeux environnementaux planétaires. Ce défi qui concerne l'ensemble des fabrications humaines, tous secteurs confondus, implique tout particulièrement celui de la construction de l'établissement humain qui consomme à lui seul plus de 40 % de l'énergie finale et émet près de 30 % des gaz à effet de serre.

LES MATÉRIAUX ET LE PROJET ARCHITECTURAL

Un développement paradoxal

Dans le règne des matériaux, la nécessaire maîtrise de la consommation des ressources et de l'énergie imposée par un développement économique durable coïncide presque paradoxalement avec une offre grandissante de nouveaux matériaux aux propriétés toujours plus performantes. La science des matériaux propose aujourd'hui des associations de matières qui décuplent les propriétés des matériaux connus jusqu'alors. Les recherches récentes d'élaboration de la matière à l'échelle du nanomètre laissent entrevoir de nouveaux possibles, y compris dans le secteur du bâtiment. Par ailleurs,

la gestion informatisée des processus de fabrication, en permettant de traiter simultanément de nombreuses données, a considérablement enrichi le langage technique et formel de la mise en œuvre des matériaux de construction.

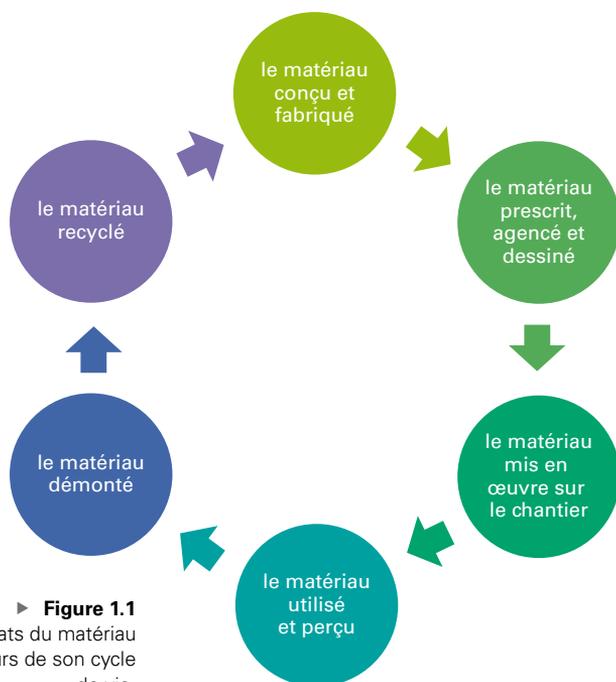
Ces deux tendances lourdes, identitaires de notre époque, celle qui nous place dans l'ère postindustrielle de l'information et celle qui nous impose de reconsidérer avec lucidité nos modes de vie et de consommation, vont modifier en profondeur la réalité matérielle de l'architecture et de la construction.

Le contraste de leur impact oblige à prendre position et à inventer des alternatives. En effet, l'une pourrait tendre à puiser dans les ressources pour satisfaire

aux exigences technologiques, alors que l'autre est en attente de nouvelles postures capables de fabriquer de façon sobre et raisonnée. Cette situation paradoxale conduit à la nécessité d'innover pour faire émerger les solutions alternatives, mais aussi à celle d'opérer des choix. Pour ce faire, les concepteurs ont besoin d'enrichir leurs connaissances des matériaux à partir d'informations susceptibles de satisfaire leurs attentes.

Les matériaux dans l'architecture : un processus complexe

Comme tout acte conceptuel, la conception architecturale convoque des connaissances pour argumenter et valider ses concepts. À l'étape de la matérialisation, elle se base sur les connaissances des matériaux. En choisissant les matériaux et les techniques constructives d'un projet de bâtiment, les concepteurs prennent en quelque sorte position par rapport à la situation évoquée ci-dessus, sans oublier toutefois que la conception et la réalisation d'un édifice sont les résultantes d'un long processus qui engage des réalités de logiques différentes.



Ainsi, les choix matériels du projet s'opèrent avec une somme de critères qui résultent de la connaissance et de l'étude des différentes étapes que le matériau rencontre au cours de son cycle de vie. Ces étapes correspondent à des actions et/ou des métiers qui engagent des ressources et de l'énergie et produisent les états successifs du matériau, des matières premières dont il est issu jusqu'à leur recyclage, en passant par les différents termes de son usage.

Les mécanismes de décision qui conduisent à opter pour un matériau plutôt que pour un autre sont tributaires de la connaissance de ses fonctions et de ses impacts. Pour les détailler, nous proposons d'examiner les différents états traversés par le matériau.

Les états du matériau

Au cours de son cycle de vie, le matériau subit un certain nombre de transformations. Ces transformations, matérielles ou conceptuelles, lui confèrent des propriétés précises à un temps T de son évolution, définies par son état. Dans une économie durable, la succession de ces états s'enchaîne en boucle, selon un processus qui se renouvelle sur lui-même (fig. 1.1).

Le matériau conçu et fabriqué

La connaissance de la fabrication des matériaux renseigne sur la nature et la quantité de matières premières et d'énergie nécessaire ainsi que sur les rejets induits par la production. Cette information, d'ordre environnemental, est utile pour comprendre l'impact de la mise en œuvre du matériau aussi bien au niveau local que global. Cette information vient en complément des données qui concernent les propriétés du matériau, son comportement dans l'ouvrage construit et sa pérennité. Ces données, fournies par le fabricant, sont essentielles à la prescription des matériaux dans la démarche de conception d'un bâtiment.

Remarquons que la fabrication contemporaine des matériaux s'est diversifiée de façon très importante. Le fabricant, dans certains cas, doit fournir des informations sur toutes les gammes et variations dispo-

nibles car l'énumération des produits sur un catalogue ne suffit pas. En effet, les connaissances actuelles sur la composition de la matière et le perfectionnement des outils de production conduisent à fabriquer à la demande, ou presque. Dans ce cas, la production n'est plus le fait d'une offre industrielle issue d'un processus déterminé par les seules contraintes de fabrication, mais elle procède d'un ajustement préalable des paramètres de fabrication, en réponse à un cahier des charges déterminé par l'usage futur du produit. Il devient ainsi nécessaire de préciser les moyens d'obtenir telle ou telle performance d'un matériau qui pourra être fabriqué à la demande. Ce cas est symptomatique des matériaux composites. Pour ceux-là, l'identification ainsi que la mise en œuvre des composants entrant dans la fabrication est souhaitable. On peut parler de « système-matériau » plutôt que de matériau. Pour prescrire un matériau dans cette configuration, il est indispensable d'être informé du mode de composition des éléments du système et de leurs propriétés.

Le matériau prescrit, agencé et dessiné

Le projet d'architecture a pour objectif de concevoir la forme de l'édifice et la composition de ses espaces pour satisfaire à des usages de toute nature. Il a aussi vocation à concevoir la façon dont les matériaux et les composants seront mis en œuvre lors de la construction. À partir des informations fournies par les fabricants, architectes et ingénieurs formulent le projet en réponse aux attentes du maître d'ouvrage et des usagers. Le choix de matériau répond aux aspirations cumulées de ces acteurs tout en tenant compte des contraintes ultérieures de la fabrication de l'édifice et de son utilisation. Cette étape conceptuelle de la matérialisation se fait en collaboration avec les ingénieurs de maîtrise d'œuvre et ceux des entreprises de construction. Elle a des implications fondamentales sur la qualité globale de l'édifice et sur sa capacité à participer à une bonne gestion des ressources et de l'énergie. La prescription est la phase

▼ **Figure 1.2**
Le potentiel expressif des matériaux. Villa Mairea. Alvar Aalto, architecte. Finlande.



qui installe précisément le matériau dans le processus de conception de l'édifice. Si la réalité des faits montre que la prescription initiale effectuée par les concepteurs du projet peut évoluer au cours de l'avancement du projet, elle n'en reste pas moins fondamentale dans la démarche globale.

L'agencement des éléments de la construction s'effectue selon un arrangement autorisé par la matière mais aussi selon des dispositifs qui la transcendent pour la conduire dans les limites de son potentiel expressif. Cela correspond à la recherche de nouveaux principes constructifs issus de l'imaginaire des architectes et des ingénieurs. Aujourd'hui, la conception constructive s'applique avec intérêt à l'enveloppe. Cet organe qui assure les échanges entre les climats intérieurs et extérieurs sollicite les propriétés des matériaux du point de vue de la lumière, de la thermique, de l'acoustique autant que de la structure. Cette tendance est révélatrice des nouvelles performances exigées du bâtiment, en relation avec sa capacité à assurer l'autonomie énergétique de son fonctionnement.

Le matériau mis en œuvre sur le chantier

Lors de la construction *in situ*, les entreprises de chantier s'approprient les matériaux. Elles les achètent en fonction de leurs savoir-faire et de l'économie de leur réalisation, suivant la latitude qui leur est laissée par le descriptif du projet. Les propriétés du matériau qui sont privilégiées à cette étape concernent sa capacité à être travaillé, manipulé, façonné dans les conditions physiques et climatiques difficiles du chantier. Cet ensemble de tâches qui sont en prise directe avec la matière correspond aux métiers variés des entreprises du bâtiment. Cela ne concerne pas directement la démarche architecturale qui doit toutefois avoir anticipé l'aptitude des entreprises à réaliser les ouvrages. Le recours à leurs compétences est souhaitable lors de la mise au point du projet pour élaborer des détails techniques en accord avec leur culture constructive. Mais la procédure d'appel d'offres est souvent contradictoire avec ce travail collaboratif en amont du projet finalisé.

Il est important de noter que la prescription d'un matériau induit souvent le type d'entreprise qui saura le mettre en œuvre.

Le matériau utilisé et perçu

La mise en service d'un bâtiment et son utilisation mettent les matériaux à l'épreuve de leurs performances annoncées.

En situation d'usage, le bâtiment est soumis à deux types de sollicitations :

- l'un est lié au comportement physique des organes du bâtiment vis-à-vis des contraintes que constituent les diverses conditions d'utilisation, y compris les sollicitations extrêmes ;
- l'autre concerne la perception que les utilisateurs ou les habitants ont de l'édifice. Les choix opérés lors de la conception anticipent ces sollicitations pour y répondre en fonction des pratiques d'usage et/ou des intentions particulières de l'architecte. Ils assurent aussi les conditions du confort.

Les aspects liés au comportement physique des matériaux en œuvre déterminent leur prescription dans l'ouvrage. Ils sont par ailleurs codifiés par les différentes réglementations de la construction, DTU et normes pour satisfaire aux garanties des ouvrages. Le choix des matériaux peut prévenir l'entretien et la maintenance des ouvrages pour en minimiser l'impact.

Le matériau démonté

Lorsqu'un bâtiment devient incompatible avec sa fonction, du fait de son vieillissement ou d'une modification de l'activité qu'il abrite, son propriétaire décide souvent de le transformer pour l'adapter à de nouveaux usages. L'option de la réhabilitation est de plus en plus fréquente car elle évite les démolitions coûteuses.

La transformation d'un bâtiment peut être facilitée dans la durée si la conception technique et constructive l'a intégrée. Les filières constructives dites « sèches » sont particulièrement adaptées à ces mutations. Ce sont les matériaux assemblés mécaniquement qui y répondent. On constate que les architectes qui intègrent les critères du développement durable dans leur conception sont attentifs à ce mode constructif qui crée les conditions de l'adaptabilité tant fonctionnelle que technique. Cela permet de modifier l'agencement des volumes ou de remplacer un composant par un autre plus performant, par simple démontage et remontage, sans démolition destructrice.

Le matériau recyclé

En cas d'usure trop prononcée des organes du bâtiment, notamment structurels, ou lorsque la nécessité l'impose, on procède à la démolition. Cette opération pose le problème de la récupération des matériaux de démolition en vue de leur recyclage.

Comme pour la réhabilitation du bâtiment, la dé-fabrication peut être anticipée dès la conception en facilitant son démontage. Le réemploi des matériaux de construction a existé de tout temps. On connaît le cas des grandes abbayes médiévales qui ont servi, comme celle de Cluny par exemple, de carrière de pierres à plusieurs générations de bâtisseurs. Ces pratiques, dictées par des contraintes économiques, anticipaient une gestion raisonnée des ressources. Elles ont disparu des habitudes. L'augmentation du nombre de matériaux que comporte un bâtiment a par ailleurs complexifié ce type de recyclage, qui réapparaît toutefois dans les chantiers expérimentaux.

Si la réutilisation des matériaux de construction est encore très marginale, les techniques de leur recyclage progressent. Par exemple, la dissociation du béton de l'acier dans le cas d'une démolition d'un bâtiment en béton armé est désormais courante. Les aciers sont sélectionnés avec des aimants, puis refondus en aciérie, et le béton est concassé en granulats destinés à confectionner des formes de routes.

On constate toutefois que le processus consistant à valoriser un déchet en une matière première implique la fabrication des artefacts dans leur ensemble, à une échelle globale. Citons quelques exemples à titre d'illustration :

- les techniques de micronisation du verre, c'est-à-dire son broyage très fin à l'échelle du micron, permettent le réemploi du verre qui n'est plus recyclable. Il est utilisé comme un ciment pour confectionner des sols compactés ;
- la fondation Emmaüs a eu l'initiative de fabriquer des isolants pour le bâtiment à partir de la transformation de tissus usagés collectés par ses soins ;
- la récupération du déchet agricole qu'est la paille des céréales est employée à la confection d'isolants.

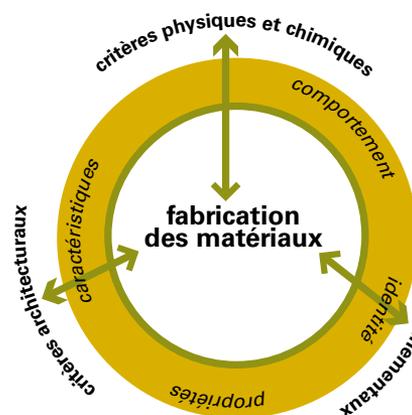
Ces cas sont exemplaires d'une économie systémique. Ces activités de transformation

proposent un modèle d'écologie industrielle. Du point de vue de la production, le territoire est appréhendé en fonction de son métabolisme dont les ressources sont en constant renouvellement. Il est d'autant plus efficace qu'il concerne toutes les formes de production sur un territoire local donné, limitant ainsi l'incidence du transport pour la transformation et l'approvisionnement des matières premières.

Le choix des matériaux : une démarche multicritères

La description détaillée des différents états que traverse le matériau au cours de son cycle de vie renseigne sur les réalités successives à prendre en compte dans la démarche de conception architecturale. On comprend que le choix des matériaux et des techniques constructives lors de la conception de l'édifice doit satisfaire à des attentes aussi diverses que la réponse à des données physiques, environnementales ou financières, mais aussi à des aspirations de nature humaine, sociale et culturelle. Ce choix s'effectue avec une démarche multicritères basée sur les caractéristiques des matériaux qui sont issues de leur processus de fabrication. Les matériaux sont évalués selon des points de vue différents :

- au regard de leurs propriétés architecturales qui définissent leur identité du point de vue de la composition architecturale et de leur expression ;
- vis-à-vis de leurs caractéristiques physiques et physico-chimiques qui en prédisent le comportement en œuvre ;



◀ **Figure 1.3**

Les critères de choix d'un matériau sont déterminés par leurs propriétés, elles-mêmes déterminées par leur fabrication ou leur origine.

- et enfin, selon l'approche environnementale qui prend en compte l'ensemble de leur cycle de vie (fig. 1.3).

Le choix définitif correspond à la pondération des critères en fonction des priorités des concepteurs ou des priorités du projet.

Cet ouvrage présente les matériaux majeurs de l'architecture, selon un plan qui rend compte des critères décrits précédem-

ment, critères qui se traduisent en caractéristiques, propriétés et comportements analysables selon les différents points de vue, de l'architecture, de la construction et de l'environnement. En introduction à la lecture des chapitres dévolus à chacun des matériaux, les principales notions relatives aux caractéristiques et aux comportements des matériaux sont rappelées de façon synthétique.

COMPORTEMENT DES MATÉRIAUX DANS L'ARCHITECTURE

Les matériaux sont dotés d'un potentiel expressif qui touche notre sensibilité et avec lequel l'architecte compose. Du point de vue de la perception, le bâtiment s'inscrit dans un registre émotionnel et esthétique qui lui confère le statut d'objet culturel. Chaque matériau est doté d'une charge émotionnelle et sensible, générée par ses propriétés physiques, analysées et projetées dans l'univers mental de l'architecte. Cette interprétation des matériaux apporte un éclairage particulier, créateur de significations. Cet aspect de la réalité des matériaux peut être défini par des propriétés architecturales qui sont convoquées dans la démarche de conception pour opérer les choix matériels, autant que les propriétés physiques ou environnementales. De ce fait, le processus décisionnel lié au choix des matériaux repose sur des ité-

rations entre la détermination des concepts architecturaux et techniques et l'ensemble des propriétés des matériaux. On peut ainsi considérer que le matériau d'architecture appartient à la démarche globale de conception dont il convient d'expliciter les principaux termes pour mieux saisir comment et pourquoi tel matériau prend place dans le projet plutôt que tel autre.

Nous retiendrons de la démarche de conception architecturale qu'elle se développe à l'intersection de deux domaines de connaissances et d'informations (fig. 1.4).

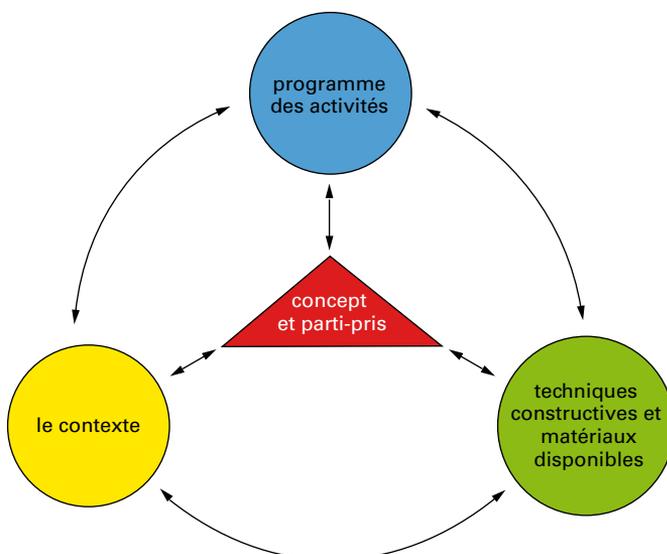
Les uns sont donnés par les conditions même du projet, **son contexte**. Un projet d'architecture répond à une demande sociale qui définit son programme; il s'inscrit dans un site déterminé physiquement et culturellement; et enfin, il est tributaire des techniques de construction et matériaux disponibles.

Les autres sont issus de l'intention spécifique de l'architecte, de son dessin, qui détermine **le concept** ou le parti pris fédérateur de l'architecture à venir. Par le biais du concept architectural, le projet apporte une réponse spatiale et constructive qui le positionne par rapport aux conditions extérieures dont il est tributaire.

L'architecture répond à un contexte

Les données du projet définies par son contexte influent sur l'élaboration du concept de façon spécifique. Les données du programme, par exemple, conditionnent

▼ **Figure 1.4**
Le projet d'architecture :
une démarche itérative
entre le concept et les
données contextuelles
du projet.





le dimensionnement des espaces intérieurs, leur organisation et leurs qualités de lumière, de confort d'ambiance. Les caractéristiques matérielles du site dans lequel s'inscrit le bâtiment régissent les volumes extérieurs, leur forme, leur importance, l'aspect des façades. Mais le site impose aussi des données environnementales et climatiques que le projet doit prendre en compte, données qui peuvent modifier l'agencement intérieur comme la création d'espaces tampons thermiques par exemple. Et le programme peut aussi déterminer la présence de l'édifice dans son site, sa monumentalité par exemple, selon le degré de représentativité souhaité. L'architecte exprime alors la signification du programme par l'aspect extérieur du bâtiment.

Enfin, le projet compose avec les matériaux et les systèmes techniques disponibles qui contribuent à la dimension matérielle de l'architecture, en fonction de l'état des techniques disponibles et des savoirs constructifs.

Créer des espaces de vie : les données du programme

La conception d'un hall d'accueil ou d'une salle de sports appelle des franchissements importants capables de dégager des volumes libres de points porteurs, alors que la conception d'un immeuble de logements se réfère à des trames porteuses de dimension moyenne, à l'échelle des espaces domestiques. On voit par ces exemples que les espaces induits par le programme et leur organisation en plan et en coupe se trouvent en relation directe avec les capacités structurelles des matériaux, mais aussi avec la forme des organes porteurs, massifs ou fins, et leur géométrie. C'est bien le potentiel géométrique de la structure du matériau qui est convoqué ici, en relation avec des caractéristiques mécaniques et physiques.

Simultanément, les matériaux sont choisis par rapport à leurs propriétés perceptibles en surface. Les différents plans des

▲ **Figure 1.5**

La structure de l'édifice répond aux usages. Le hall d'accueil de l'Hôtel de ville de Yushara (Japon). Kengo Kuma et associés, architectes.



▲ **Figure 1.6**
La forme en ondes
souples du bâtiment de
la Fondation Paul Klee
à Berne (Allemagne)
dialogue avec les
collines environnantes.
Renzo Piano Building
Workshop, architectes
en collaboration avec
ARB, architectes (Bern).

organes de la construction sont identifiés par leur degré d'opacité ou de transparence, par leur couleur et par leur état de surface. Ces paramètres participent à créer la qualité architecturale des espaces de vie perçue par les cinq sens. Les choix qui président à cette étape de la conception de l'édifice se réfèrent à la perception, riche d'images mentales véhiculées par les impressions, et aux sensations, plus directement liées au confort physique. On s'intéresse ici aux qualités de l'ambiance de l'espace architectural, qu'elles soient hygrothermique, acoustique, visuelle ou tactile, voire kinesthésique.

S'inscrire dans un site

La conception de l'architecture est fortement tributaire du site d'insertion de l'édifice avec lequel elle est destinée à entretenir

un dialogue, qu'il soit de l'ordre de l'intégration ou du contraste. L'architecture s'identifie dans son site, par sa forme et par l'aspect de ses façades. La forme du volume est déterminée par les éléments qui concourent à son édification : le soubassement qui marque l'accroche à la terre, la couverture qui se confronte au ciel et les façades qui laissent deviner l'activité du bâtiment. Ces trois composantes majeures de la construction traditionnelle de l'édifice forment, parfois, un seul et même corps, abrité par une enveloppe continue.

L'installation dans un site expose par ailleurs l'édifice aux climats environnants, thermique, aéralique ou acoustique. Ces facteurs sont aujourd'hui déterminants car ils représentent autant de ressources que le bâtiment peut capter que de nuisances potentielles à éliminer. C'est en



► **Figure 1.7**
Construire avec des
ressources locales. Bois
et pierres de la Drome et
isolants en paille pour le
gymnase de Crest. R2K,
architectes.

majeure partie au travers de l'enveloppe que s'opèrent ces échanges. Leur maîtrise naturelle s'appuie sur les principes de l'architecture bioclimatique dans lesquels les matériaux jouent un rôle important.

Enfin, le site est aussi un lieu chargé d'histoire, cette épaisseur du temps qui le connecte à ses destinations antérieures. La mémoire de ce passé est parfois tissée avec le nouveau bâtiment au travers d'options prises par le parti architectural et que peut refléter ou non le choix de certains matériaux.

Matériaux et techniques constructives

Avant la révolution industrielle, l'art de bâtir s'est développé à partir de matériaux traditionnels, le plus souvent locaux. Ces pratiques ont largement contribué à créer l'identité du bâti de chaque territoire, comme l'architecture en bois des pays du Nord de l'Europe ou l'architecture en pierre du bassin méditerranéen. Avec l'essor des sciences appliquées au XVIII^e siècle, des matériaux aux caractéristiques nouvelles sortent des ateliers de l'industrie naissante : le fer et la fonte au XIX^e siècle, puis le béton et le verre au XX^e siècle, et enfin les polymères et les composites, qui ont renouvelé le potentiel expressif des techniques de construction. Parallèlement, le développement des moyens de transport autorise une large circulation des matériaux manufacturés, et avec eux, la circulation des techniques constructives.

Aujourd'hui, l'art de bâtir s'est internationalisé et banalisé mais les enjeux du développement durable posent de nouveau la question des ressources locales qui commencent à modifier les habitudes des métiers de la construction.

Les caractéristiques du concept architectural

Le concept qui répond aux données du projet est formulé avec les outils spécifiques de l'architecte. Nous en évoquons ci-après les principaux aspects qui participent de la démarche de conception architecturale, en

relation directe avec les spécifications physiques des matériaux.

Parce que l'architecture est un art, le processus de création et de conception qui l'élabore est caractérisé par l'introduction de significations capables d'exprimer un propos symbolique ou une narration d'ordre poétique qui touche l'émotion et la sensibilité. L'architecte, tout comme le peintre ou le musicien, compose avec les éléments de la matérialité pour traduire l'intention sensible tout en la confrontant aux données exactes et mesurables évoquées précédemment, celles qui posent les problèmes initiaux. Pour y parvenir, il possède un certain nombre d'outils projectuels caractéristiques de ses compétences.

Créer la forme

La définition de la forme architecturale, si elle est dépendante des données du projet et de son contexte, est aussi tributaire du propos architectural qui se définit en puisant dans les sources de corpus culturels. Celles-ci proviennent de doctrines, de symboles ou d'emprunts à des références existantes. Mais la création de la forme peut aussi procéder d'une prise de possession volontariste du site.

Dans tous les cas, cet aspect du projet a pour objet de produire du sens, qui crée l'identité et donne son statut d'œuvre à l'édifice architectural. L'exemple de la Grande Arche de la Défense à Paris, plus qu'un immeuble de bureaux est un symbole qui s'inscrit dans la continuité historique d'un axe majeur du territoire parisien. Sa forme de cube évidé monumental, de 100 mètres de côté, s'inscrit dans la continuité des arcs de triomphe historiques ainsi que celle, contemporaine, du quartier de tours dans lequel elle est située. Ce bâtiment, remarquable par son concept, l'est aussi par sa technique et ses matériaux. Son plancher haut par exemple n'aurait pu être réalisé sans les techniques de mise en œuvre de l'entreprise qui a utilisé un béton spécialement formulé. Il fallait qu'il soit très fluide pour pouvoir être acheminé à 100 mètres d'altitude tout en étant résistant. La Grande Arche, du point de vue des concepts architecturaux, pose clairement la question de l'échelle.

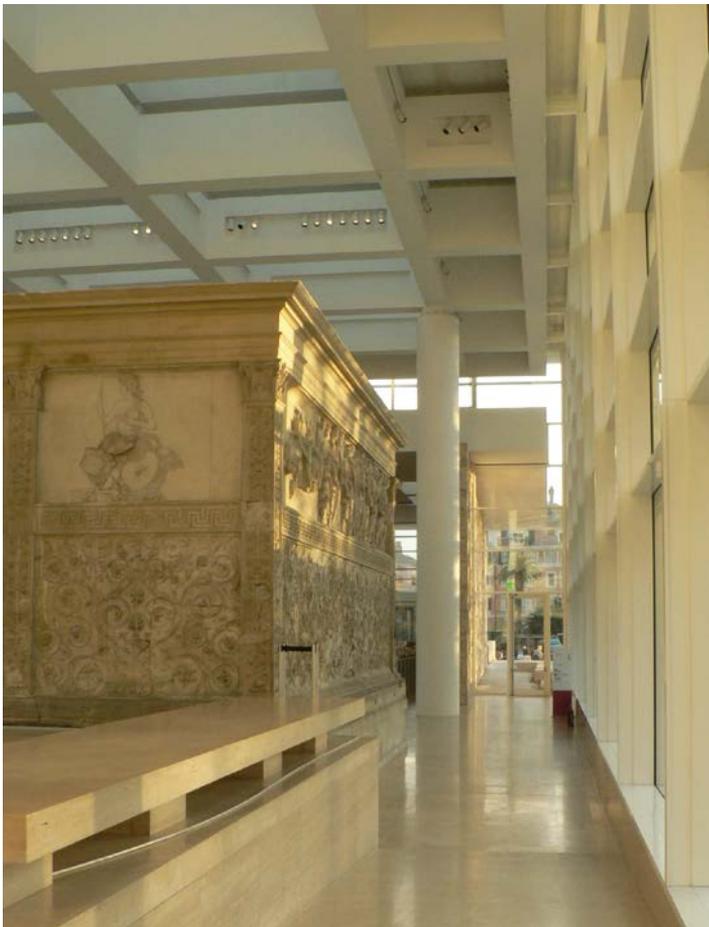
► **Figure 1.8**

L'échelle monumentale d'un édifice religieux : la mosquée de Djenné au Mali.



▼ **Figure 1.9**

Variations de lumière dans les allées du musée de l'Ara Pacis (autel de la Paix), monument de la Rome antique édifié par Auguste. Le musée a été conçu par Richard Meier, architecte.



L'échelle : du domestique au monumental

Si la notion d'échelle rend compte de la taille des objets en rapport avec leur usage ou leur contexte, elle est aussi définie par l'intention de l'architecte qui prend parti par rapport à un ensemble de mesures étalonnées sur le corps humain, cette réalité physique qui nous donne à percevoir. Les disparités de mesure, des ouvrages à échelle humaine à ceux qui s'inscrivent dans un registre « hors échelle », participent à créer la symbolique d'un bâtiment. Ainsi, l'ouvrage plus grand que l'ensemble dans lequel il s'inscrit, qu'il soit édifice ou partie d'édifice, génère un contraste dont l'effet déstabilise et provoque. Cela induit un dépassement recherché par le concepteur pour affirmer une signification particulière. C'est le cas de la plupart des édifices religieux, aux dimensions hors échelle par rapport aux bâtiments qui les entourent. Par ce biais, ils affirment la domination d'un pouvoir tout autant qu'ils traduisent le désir d'élévation de la communauté religieuse.

Entre plein et vide

La forme architecturale se construit aussi dans le dialogue entretenu entre des éléments de matérialité qui s'opposent.

- la transparence est d'autant plus évidente qu'elle se confronte à la masse ;
- le vide d'un espace est révélé par le plein de ses limites ;
- le mur devient façade lorsqu'il est percé d'ouvertures.

Dans cet échange nourri entre la matière et sa disparition, la forme et les qualités de l'espace architectural s'installent pour constituer l'édifice. Les attributs de la matière rendent possible la concrétisation de ces intentions architecturales. L'aspect des matériaux et leur capacité à être mis en forme contribuent à rendre manifeste les masses et les surfaces, pleines ou transparentes, qui dessinent les volumes.

La perception de l'espace architectural

Ombre et lumière

En appui d'une composition basée sur les pleins et les vides de la matière, intervient l'énergie qui la rend tangible visuellement : la lumière. Le Corbusier affirmait que l'architecture est « le jeu savant, correct et magnifique des volumes assemblés sous la lumière ». Avec cette définition, l'architecte fondateur du Mouvement Moderne, relie les volumes du bâtiment à la lumière en précisant que la composition qui les associe, le jeu qui les relie, s'établissent avec un savoir précis qui agit avec justesse pour créer la beauté. La lumière joue un rôle différent à l'intérieur ou à l'extérieur du bâtiment. À l'extérieur, les volumes s'affirment par leur forme et leurs surfaces : la lumière est souvent subie. Au contraire, la lumière intérieure est tributaire des ouvertures, de leur disposition et de leurs dimensions : elle est captée et travaillée dans une gradation qui peut faire varier son intensité, de l'éclairage puissant à l'ombre mystérieuse. Elle est alors fonction du caractère plus ou moins réfléchissant des matériaux mis en œuvre.

Textures et couleurs

La perception des volumes de l'architecture est subordonnée à celle de leurs surfaces caractérisées par leur aspect : couleur, texture et finition.

Ces propriétés sont intrinsèques aux matériaux et varient selon leurs techniques de mise en œuvre. L'exemple de la brique est particulièrement significatif :

- sa couleur dépend de la terre d'origine et de sa finition ;
- son module associé aux joints de pose crée un graphisme générateur d'un certain type de texture du mur ;
- enfin, son appareillage, la disposition des briques les unes par rapport aux autres, introduit un mode de composition qui favorise de nombreuses variations ornementales.

De la même façon, le béton, dit « béton architectonique », offre un registre d'états de surface que l'on peut définir à la demande en fonction de ses constituants et de sa mise en forme. On peut citer aussi la nature des bois, variable en fonction de leur essence, associée aux modes d'usinage des pièces de bois et dont la variété des techniques de mise en œuvre propose une gamme de composition susceptible de créer des surfaces d'aspect très différent. Le verre n'échappe pas à ce mode de composition. Son degré de transparence peut être réglé ainsi que sa couleur ou son opalescence.

Espace sonore

En conclusion de cet aperçu des outils conceptuels déployés par l'architecte pour créer et concevoir la matérialité de l'architecture, il est utile d'ajouter que les qualités d'une architecture peuvent aussi s'apprécier par l'écoute. Tout espace est doté d'une sonorité, plus ou moins perceptible. Cette propriété singulière de la qualité des édifices est essentiellement relative aux deux grands domaines de composition évoqués précédemment : la forme des volumes et la nature de leur surface.



▲ **Figure 1.10**

La gamme de composition des matériaux et son registre de couleurs et de textures. Maison individuelle. Edmond Lay, architecte.



► **Figure 1.11**

Bois : volumes amples et surfaces à caresser. Intérieur japonais traditionnel.