

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE BADJI MOKHTAR- ANNABA
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA TERRE
DÉPARTEMENT D'ARCHITECTURE



Domaine : Architecture, Urbanisme et métiers de la ville
Filière : Architecture
Spécialité : Licence 1^{ère} année

POLYCOPIE DE THEORIE DE PROJET

Programme de 1^{ère} année Licence « Architecture »- Semestre deux (2)

Présenté par :

Naouel ROUAIBIA (MCB)

Année Universitaire 2021 - 2022

Table des matières

Table des matières.....	I
Introduction générale.....	1
1. Introduction.....	1
2. Objectifs du cours.....	1
3. Le contenu suggéré par la nouvelle plaquette de licence en Architecture	2
4. Interprétation et structure du contenu suggéré.....	2
Chapitre 1 Relations : forme, espace, structure.....	4
Introduction	4
1. La relation entre structure, matériaux, forme et espace.....	5
2. Définition de la structure	5
3. Principales actions mécaniques sur les structures porteuses...	6
4. Comportement des structures sous chargement.....	7
5. Types de sollicitations.....	8
6. Composantes de la structure.....	9
6.1 L'infrastructure	9
6.1.1. Les fondations superficielles	10
6.1.2. Les fondations profondes et semi profondes	11
6.2 La superstructure	11
6.2.1. Les structures monolithiques.....	12
6.2.1.1. Les murs en maçonnerie de pierres (les plus anciens).....	12
6.2.1.2. Les murs en maçonnerie de briques.....	14
6.2.1.3. Les murs en maçonnerie de pierres reconstituées (type parpaing constructif).....	15
6.2.1.4. Les murs en rondins de bois (pays froids)	16
6.2.2. Les ossatures	17
6.2.2.1. Les poteaux	17

6.2.2.2. <i>Les poutres</i>	18
6.2.3. Les structures spéciales.....	20
6.2.3.1. <i>Les treillis</i>	20
6.2.3.2. <i>Les structures tendues et gonflables</i>	21
6.2.3.3. <i>Les structures en coque et voile mince</i>	27
Conclusion	31
Chapitre 2 Relation : forme et espace	32
Introduction	32
1. La relation entre la forme et l'espace	33
1.1. La symbiose entre éléments positifs et négatifs	33
1.2. Les ouvertures	37
1.3. La circulation	38
1.3.1. L'approche	38
1.3.1.1. <i>L'approche frontale</i>	38
1.3.1.2. <i>L'approche oblique</i>	39
1.3.1.3. <i>L'approche en spirale</i>	40
1.3.2. L'entrée.....	40
1.3.3. La configuration du parcours.....	42
1.3.3.1. <i>Linéaire</i>	43
1.3.3.2. <i>Radiale</i>	43
1.3.3.3. <i>En spirale</i>	43
1.3.3.4. <i>Tramée</i>	45
1.3.3.5. <i>En réseau</i>	45
1.3.4. La relation entre les éléments du parcours	45
1.3.4.1. <i>Passer par l'espace</i>	45
1.3.4.2. <i>Passer à travers les espaces</i>	46
1.3.4.3. <i>Se terminer dans un espace</i>	47
1.3.5. La forme du parcours	48
Conclusion	52

Chapitre 3	La relation : forme et fonction	53
Introduction		53
1.	La relation entre la forme et la fonction.....	54
2.	Le courant fonctionnaliste en architecture : quand la forme suit la fonction	54
3.	La programmation architecturale	57
4.	Le programme architectural	57
5.	Comment analyser un programme ?.....	58
5.1.	<i>La matrice</i>	59
5.2.	<i>Le diagramme à bulles</i>	60
4.2.1	<i>Méthodologie d'élaboration d'un organigramme à bulles</i>	64
6.	Le zoning.....	69
Conclusion		69
Chapitre 4	Introduction à la mise en forme du projet	70
Introduction		70
1.	Système de proportion	71
2.	Le nombre d'or.....	72
2.1	<i>Les propriétés algébriques et géométriques du nombre d'or</i>	74
3.	Le nombre d'or en architecture.....	75
3.1.	<i>L'architecture égyptienne</i>	75
3.2.	<i>L'architecture grecque.....</i>	75
3.3.	<i>L'architecture gothique</i>	78
3.4.	<i>L'architecture de la renaissance</i>	78
3.5.	<i>L'architecture japonaise : le Ken</i>	80
3.6.	<i>L'architecture moderne : le modulator</i>	81
4.	Le modulator : genèse d'une notion architecturale par le Corbusier.....	82
5.	La grille basique du modulator	83
6.	La coordination dimensionnelle et ses implications dans le	

projet	85
7. La notion d'échelle en architecture	86
7.1. <i>L'échelle visuelle</i>	87
7.2. <i>L'échelle humaine</i>	90
8. L'anthropométrie	91
9. L'ergonomie	93
9.1. <i>L'ergonomie, essai de définition</i>	93
9.2. <i>Ergonomie et architecture</i>	95
10. Notions élémentaires de programmation	96
10.1. <i>Diagnostic</i>	96
10.1.1. Analyse de l'existant	96
10.1.2. Définition des besoins et programmation.....	96
10.2. <i>Conception ergonomique</i>	97
10.2.1. Scénarios d'usage et simulation.....	97
10.2.2. Conception ergonomique de l'aménagement.....	97
10.3. <i>Conception architecturale</i>	98
Conclusion	98
Chapitre 5 Le processus de projections, ses échelles et ses étapes	100
Introduction	100
1. La conception, essai de définition	101
2. La conception et ses propriétés	101
2.1. <i>Une activité contraignante et créative</i>	101
2.2. <i>Une activité à la fois cognitive et productive</i>	102
2.3. <i>Une activité à la fois individuelle et collective</i>	102
2.4. <i>Une activité coopérative et collaborative</i>	102
3. Le processus d'élaboration du projet architectural	103
4. Les principaux moments de la conception architecturale	104
4.1. <i>La phase de préconception</i>	104
4.2. <i>L'analyse du site</i>	104
4.3. <i>La conception schématique du projet</i>	104

5.	La conception par la fonction, forme et structure.....	107
5.1.	<i>La conception par la fonction.....</i>	107
5.2.	<i>La conception par la forme</i>	108
5.3.	<i>La conception par la structure</i>	109
5.4.	<i>La conception par la forme, la fonction et la structure</i>	111
6.	Comme synthèse aux différentes étapes du processus de création	111
	Conclusion.....	113
	Synthèse des acquis du deuxième semestre.....	114
	Liste des figures.....	115
	Références électroniques des illustrations.....	122
	Bibliographie	126

1. Préambule

La construction d'un savoir théorique autour du projet d'architecture constitue un paradigme de départ pour la formation en architecture. Ce savoir, naît à partir d'une perpétuelle acquisition d'un savoir touchant un éventail de disciplines scientifiques dont la mathématique, la physique, la sociologie, etc. Il prend appuie sur un mode spécifique d'un contenu scientifique compréhensible, basé sur un langage binaire combinant un langage pictural (le dessin) et un langage verbal (signification de l'œuvre, le sens que véhiculent les outils utilisés, leurs relations et le discours qui en ressort) (Hammou, 2016 : 9).

Dans ce sillage, le cours de théorie de projet destiné aux étudiants de première année architecture traduit une matière de raisonnement voire un support de théories, de concepts et de démarches nécessaires permettant aux étudiants d'acquérir un savoir qui va leur permettre de concevoir un projet architectural. Autrement dit, dans l'enseignement de la théorie de projet, l'étudiant est placé dans une situation d'apprentissage qui lui permet d'explorer le savoir acquis comme le ou les chemins menant à la naissance de l'idée ou la solution de l'œuvre architecturale constituant la phase la plus difficile pour les étudiants où ils se trouvent perdus devant leurs feuilles blanches.

Les cours initiaux de ce module ont été enseignés par une équipe pédagogique du département d'architecture-Annaba, constituée de Mr Noufel BAHRI, Mme Khedidja BOUFENARA, Heddy BOULEKROUN, Bahia KEBIR et Nadira SAIDI de 2010-2014. Le fruit de collaboration de cette équipe m'a aidé lors de l'élaboration de ce modeste travail dont le contenu a été révisé et enrichi après une consultation d'un large éventail de sources documentaires enrichissantes pour répondre au contenu suggéré par la nouvelle plaquette de licence en Architecture de 2017/2018.

2. Objectifs du cours

L'objectif du cours de théorie de projet relatif au deuxième semestre est d'abord de faire prendre conscience à l'étudiant de l'importance du développement des fondations d'une culture architecturale indispensable pour sa formation, puis lui donner les connaissances et les bases scientifiques, techniques et culturels contribuant à la maîtrise d'un savoir faire architectural. Ces connaissances appliquées progressivement d'une étape à une autre durant le processus de conception du projet architectural deviendront en même temps « un moyen de contrôle, de justification et de cohérence » (Idem : 18).

En plus, le cours tente dans sa globalité de faire initier les jeunes étudiants aux notions théoriques de base considérées comme des lignes directrices pour la conception architecturale. Ces notions seront utilisées dans un premier temps en atelier de projet et plus tard dans la pratique architecturale. La compréhension de ces notions articulant les éléments du triptyque forme/ fonction/structure passe tout d'abord par la compréhension de chaque élément

Semestre	Unité d'enseignement	Matière	Volume horaire	Coefficient	Nombre de crédits
2	Fondamentale	Théorie de Projet 2	22h30	2	2

séparément puis de les mettre en relation voire en interaction dans un processus de conception architecturale.

Ainsi, il accorde une attention particulière à travers l'acquisition des méthodes appuyées sur la théorie et liées aux processus et techniques de conception de l'espace architectural à l'éveil du sens de l'observation et de la créativité chez l'étudiant car « la théorie dans le domaine de l'architecture ne peut en aucun cas prétendre offrir des solutions uniques, car elle amputera à la conception : la créativité » (Ibid.).

*Source : Tableau joint au canevas de mise en conformité, licence académique « Architecture »,
Théorie de projet, 1 ère année licence, p 42.*

3. Le contenu suggéré par la nouvelle plaquette de licence en Architecture

- **Relations formes, espaces, structure**

- Introduction à la structure
- Structure et architecture (ossatures, couvertures, structures tendues)
- Relations matériaux, structure, forme, espace.

- **Introduction à la mise en forme du projet**

- Systèmes de proportions
- proportions particulières : le moduler.
- Coordination dimensionnelle et ses implications dans le projet
- Ergonomie et architecture

-Notions élémentaires de programmation

- **Processus de projection, ses échelles et ses étapes.**

4. Interprétation et structure du contenu suggéré

Le cours de théorie de projet relatif au deuxième semestre est composé de cinq chapitres dont le premier intitulé « **Relations : forme, espace, structure** » met l'accent sur la relation entre trois éléments qui sont la forme, l'espace et la structure. Ainsi, ce cours accorde une attention particulière à la structure en dévoilant ses composantes et les différents types de structures spéciales. Dans un deuxième chapitre intitulé « **Relation : forme, espace** », il était intéressant de dévoiler les paramètres qui contrôlent la relation cruciale entre la forme et l'espace liés au rapport entre l'intérieure et l'extérieure. Ces paramètres s'appuient sur trois éléments à avoirs la symbiose entre solide et vide, éléments positifs et éléments négatifs, les ouvertures et la circulation entre dedans et dehors. Ainsi, la relation triptyque entre la forme, l'espace et la structure ne peut être réussie qu'après la prise en considération de la relation entre la forme et les exigences fonctionnelles. Cette relation occupant un fort poids dans la formation des étudiants de première année architecture mériterait d'être développé dans un troisième chapitre intitulé « **relation : forme, fonction** ». Dans ce dernier, on abordera le courant fonctionnaliste, la programmation architecturale et les étapes à suivre dans l'analyse d'un programme architectural (matrice et diagramme à bulles). Dans le quatrième chapitre intitulé « **introduction à la mise en forme du projet** », une attention particulière a été consacrée à la notion d'échelle, aux systèmes de proportions et notamment le modulator, à l'utilité de l'ergonomie comme un trait d'union entre l'homme et l'espace utilisé en fonction de ses mesures, ses gestes et ses activités et aux notions élémentaires de programmation. Tandis que le cinquième chapitre intitulé « **processus de projection, ses échelles et ses étapes** » est autant un cadrage d'un processus récapitulatif illustrant à travers les acquis des cours du semestre 1 et 2 le rôle de l'interaction et l'interdépendance entre les outils du triptyque forme/ fonction/ structure dans le processus de conception architecturale.

Chapitre 1 Relations : forme, espace, structure

Chapitre 2 Relation : forme, espace

Chapitre 3 Relation : forme, fonction

Chapitre 4 Introduction à la mise en forme du projet

Chapitre 5 Processus de projection, ses échelles et ses étapes

Chapitre 1 : Relations : forme, espace, structure

Plan du chapitre

Introduction

1. Définition de la structure
 2. Principales actions mécaniques sur les structures porteuses
 3. Comportement des structures sous chargement
 4. Types de sollicitations
 5. Composantes de la structure
 - 5.1.L'infrastructure
 - 5.1.1 Les fondations superficielles
 - 5.1.2 Les fondations profondes et semi-profondes
 - 5.2.La superstructure
 - 5.2.1 Les structures monolithiques
 - 5.2.1.1*Les murs en maçonnerie de pierres (les plus anciens)*
 - 5.2.1.2*Les murs en maçonnerie de briques*
 - 5.2.1.3*Les murs en maçonnerie de pierres reconstituées (type parpaing constructif)*
 - 5.2.1.4*Les murs en rondins de bois (pays froids).*
 - 5.2.2 Les ossatures
 - 5.2.2.1*Les poteaux*
 - 5.2.2.2*Les poutres*
 - 5.2.3 Les structures spéciales
 - 5.2.3.1*Les treillis*
 - 5.2.3.2*Les structures tendues et gonflables*
 - 5.2.3.3*Les structures en coque et voile mince*
 6. La relation entre structure, matériaux, forme et espace
 - 6.1.La relation entre structure et espace
 - 6.2.La relation entre espace et forme
 - 6.3.La relation entre forme et fonction
- Conclusion

Chapitre 1

Relations : forme, espace, structure

Introduction

Selon Vitruve, l'architecture s'appuie sur trois principes qui sont : firmitas, utilitas et venustas. La fermeté est la qualité la plus fondamentale qui s'intéresse à la capacité du bâtiment à persévérer son intégrité physique et à survivre dans le monde en tant qu'objet physique. La partie du bâtiment qui satisfait le besoin de fermeté est la structure. (Macdonald, 2001 : XI).

La structure constitue depuis toujours un aspect fondamental de la construction. Si jusqu'à la Renaissance la statique des constructions se basait uniquement sur l'expérience, sur l'intuition, sur l'expérimentation avec des maquettes et sur des règles empiriques, la Révolution industrielle a bouleversé la donne dans le sens où elle a permis l'apparition des nouveaux matériaux permettant le développement d'une grande variété de nouvelles solutions structurelles, le développement des sciences de construction et la transformation de cette discipline en une véritable matière scientifique et technologique. Par conséquent, « La recherche, les avancées technologiques, mais aussi les visions de grands constructeurs (qu'ils soient techniques ou politiques) ont contribué grandement au développement de l'art de construire » (Ollivier, 2017 :9) où le comportement mécanique de la structure peut être prévu analytiquement, sa forme la plus efficace peut être établie au moyen d'instruments mathématiques et les dimensions nécessaires pour garantir sa résistance et sa stabilité peuvent être calculées et déterminées (Muttoni, 2015 : V).

1. La relation entre structure, matériaux, forme et espace

La structure fait partie intégrante de la conception de l'architecture depuis l'âge primitif. Les formes structurelles de base, leurs propriétés, les matériaux utilisés, sont d'une importance cruciale pour prendre la décision de sélectionner la forme appropriée dans la conception architecturale. La structure et l'espace sont en "symbiose". Cette relation d'affection mutuelle prend appui sur trois grandes catégories de relations : l'ordre structurel dominant ; l'ordre spatial dominant ; et la relation harmonieuse entre les deux, dans laquelle l'ordre spatial et l'ordre structurel semblent s'accorder. Aujourd'hui, Il y a également eu des protagonistes d'une quatrième catégorie de relation, dans laquelle l'organisation spatiale est dite séparée de la structure, de sorte qu'elles peuvent coexister, chacune obéissant à sa propre logique sans les contraintes associées à l'autre.

2. Définition de la structure

Un bâtiment peut être considéré comme une simple enveloppe qui entoure l'ossature, le châssis d'une construction. L'enveloppe est constituée généralement d'une partie portante et de parties couvrantes (horizontales, verticales ou inclinées). Par le terme structure portante, nous désignerons l'ensemble des éléments structurels qui exercent une fonction de soutien et de résistance aux charges qui lui sont imposées, dans le domaine du bâtiment et dans d'autres domaines analogues de la construction. (Muttoni, 2015 : XIV).

Le but d'une structure est lié à son usage et à sa fonction architecturale :

- Elle peut servir à clore, couvrir ou protéger un espace ;
- Elle peut créer une surface utile pour d'autres fins (par exemple un plancher, une structure qui soutient un parking, un pont sur lequel passe une route).
- Elle peut résister à des charges ou soutenir quelque chose (un mur de soutènement qui résiste à la poussée de la terre ; un pylone qui porte une ligne à haute tension ; une chaise, une table) (Idem : XV).

3. Principales actions mécaniques sur les structures porteuses

Chaque structure est sollicitée par un ensemble de forces que l'on appelle des charges, on distingue différents types de charges (Figure 1):

- Les charges permanentes : c'est à dire le poids propre des structures et des éléments non structuraux qui ne varient pas dans le temps
- Les charges d'exploitation : c'est-à-dire charges gravitationnelles des occupants et à leurs effets (le poids des personnes), des meubles, etc
- charges dynamiques : la neige, le vent et la pluie, la poussée du vent (Tableau1)

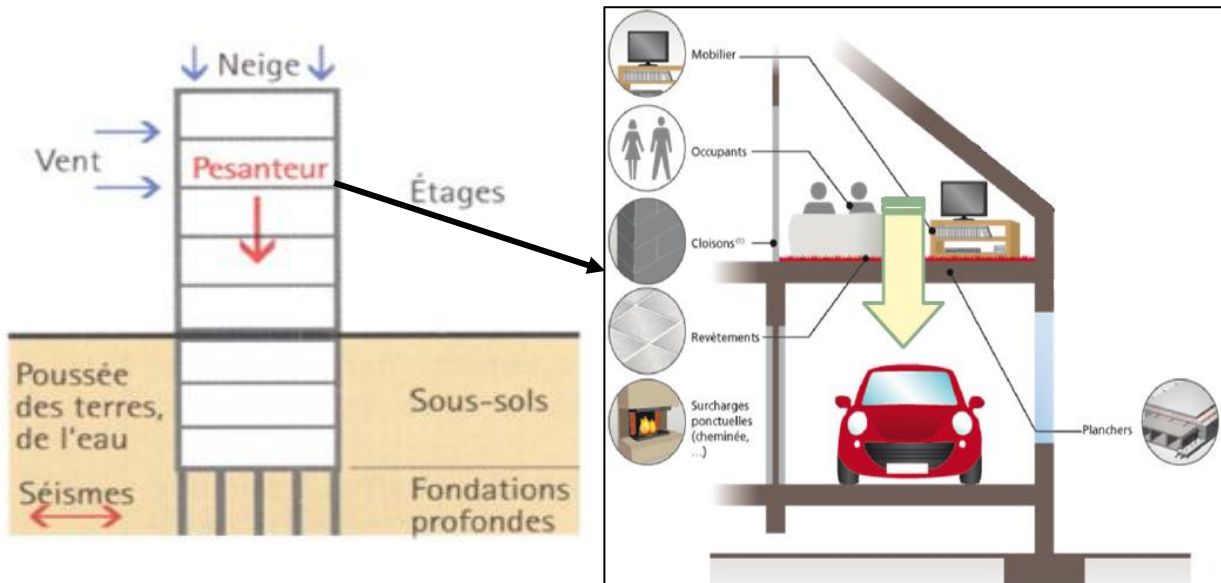
La structure porteuse supporte les efforts de ces charges les transmet au sol par les fondations.

Tableau1 : Les types de charges et leurs sources.

Direction des actions mécaniques	Fréquence	Source de l'action mécanique
Verticale	Permanente	Charges permanentes (Poids propre) à travers le calcul du volume des éléments et le multiplier par le poids d'une unité de volume du matériau (poids spécifique mesuré en KN/m ³).
	Variable	Charges d'exploitation (utilisateurs, meubles, matériel de toute sorte et marchandises ...), qui varient selon l'affectation de la construction. Charges dynamiques où la valeur change rapidement telle que l'action de la neige, sous pression des nappes phréatiques.
Horizontale	Permanente	Charges dynamiques (Poussée des terres).
	variable	Charges dynamiques (Vent, séisme).

Source : Kassoul, 2016 : 2

Figure 1 : Les charges permanentes et variables.



Source : <https://slideplayer.fr/slide/4012639/>

4. Comportement des structures sous chargement

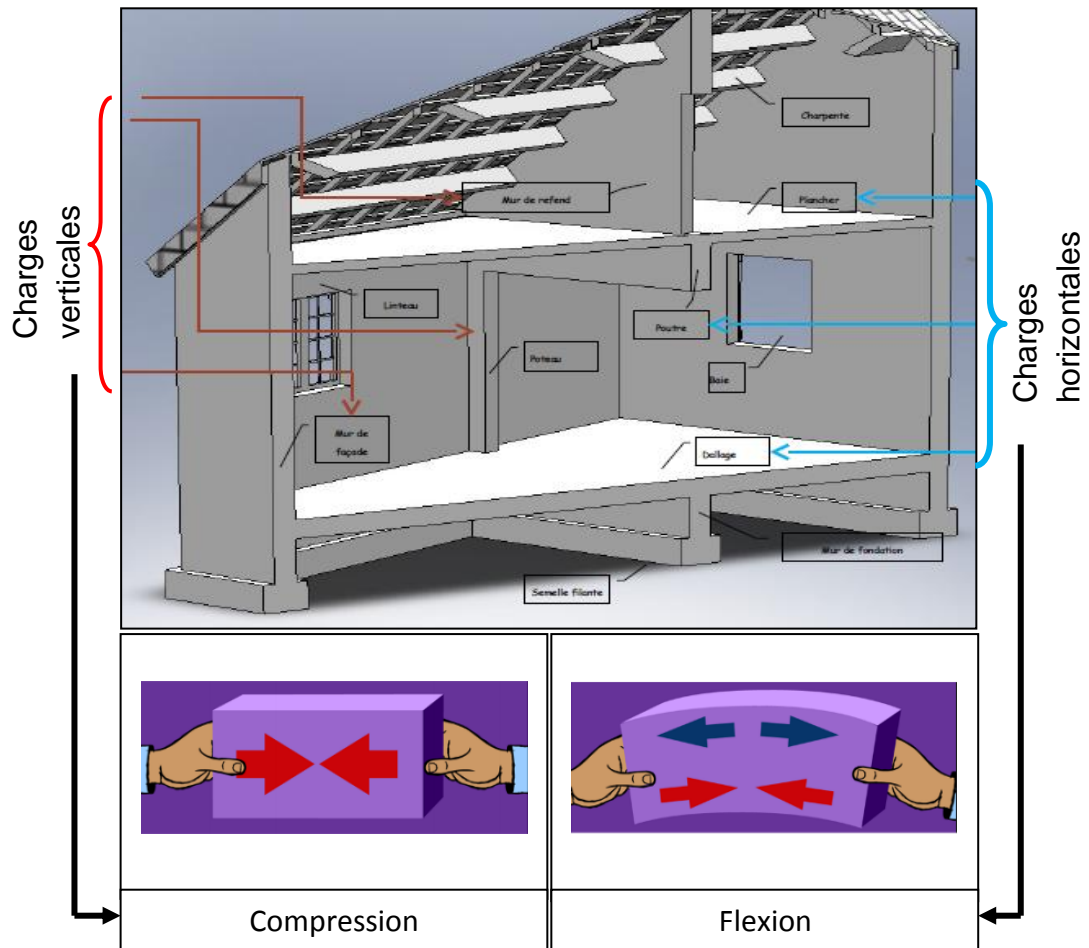
Les charges principales sont généralement dues à la gravité. On analyse donc le comportement de la structure sous ces charges verticales. Elles transitent par plusieurs éléments porteurs dits « horizontaux » principalement fléchis, lesquels reportent ces charges sur des porteurs « verticaux » principalement comprimés (Tableau 2) (Figure2).

Tableau 2 : le comportement de la structure sous les charges horizontales et verticales.

Type de structure	Exemples	Fonctions	Sollicitation principale
Porteurs horizontaux	Planchers Poutres Charpentes	Supporter le poids des espaces fonctionnels. Transmettre ce poids aux Porteurs verticaux inférieurs.	Flexion
Porteurs verticaux	Murs Poteaux	Recevoir les charges verticales apportées par les porteurs horizontaux. Transmettre ces charges vers le sol de fondation.	Compression

Source : Rouaibia, 2021

Figure 2 : Le comportement de la structure sous les différentes charges.







Source : http://blog.ac-versailles.fr/cabadonf/public/Synthese_materiaux.pdf

5. Types de sollicitations

Les charges appliquées ont tendance à déformer l'enveloppe du bâtiment. Il est important de comprendre comment une force agit sur un élément de structure. En générale on distingue les types de sollicitations suivants (Tableau 3) :

Tableau 3 : Les types de sollicitation.

Types de sollicitation	Illustration	Définition
La compression		La pièce est soumise à l'action de deux forces directement opposés qui tendent à la raccourcir.

<p>La flexion</p>		<p>La charge verticale appliquée sur une poutre prenant appui sur deux produit une déformation d'un objet qui se traduit par une courbure.</p>
<p>La traction</p>		<p>La pièce est soumise à l'action de deux forces directement opposées qui tendent à l'allonger.</p>
<p>La torsion</p>		<p>Déformation donnée à un corps allongé par une rotation dans le sens transversal.</p>

Source : <https://www.youtube.com/watch?v=MEFKvVCI3mo>

6. Composantes de la structure

Dans une structure on distingue deux parties : l'infrastructure et la superstructure.

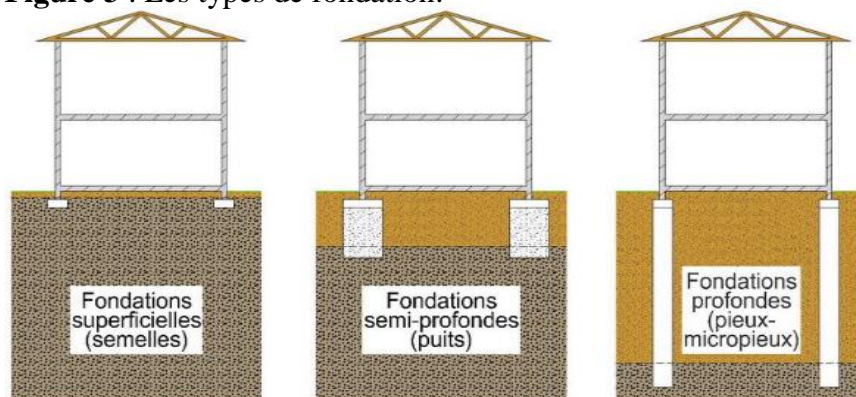
6.1.L'infrastructure

Elle représente l'ensemble des fondations et des éléments situés en dessous du niveau de base, sa fonction est de reprendre les charges transmises par la superstructure de les transmettre au sol d'assise et d'assurer la stabilité de l'ouvrage. Le choix du type de fondation dépend du:

- Le type du sol,
- les charges amenées par la construction,
- le coût d'exécution.

Il existe trois types de fondation : Superficielles, semi profondes et profondes (Figure 3).

Figure 3 : Les types de fondation.



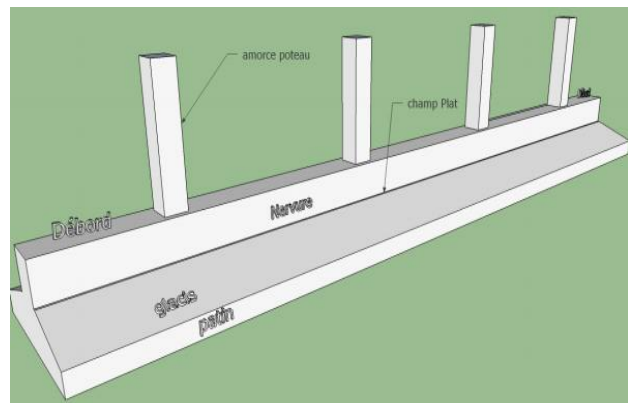
Source : <https://www.be-gph.fr/blog/215-fondations-superficielles-semi-profondes-ou-profondes-pourquoi.html>

6.1.1. Les fondations superficielles

Les fondations sont dites superficielles si une des deux conditions suivantes est respectée : $H/L < 6$ ou $H < 3$ m Avec H : profondeur de la fondation et L : largeur de la fondation. Les fondations superficielles sont mises en œuvre lorsque la construction peut prendre appui sur une couche de résistance acceptable à faible profondeur par rapport au niveau le plus bas de la construction. Les fondations superficielles sont de trois types : Semelle isolée, placée sous un poteau, semelle filante, placée sous un mur ou plusieurs poteaux et radier.

- **Semelles continues ou filantes** : pour charges homogènes sur le sol. Elles sont employées si les poteaux sont trop rapprochés (Figure 4) et si la capacité de portance du sol est variable (éviter le tassement différentiel).

Figure 4: Les semelles filantes.

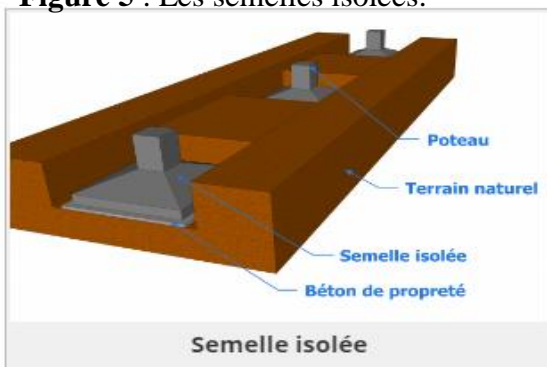


Source :

<http://constructionepau.wifeo.com/documents/semelles-filantes.pdf>

- **Semelles isolées** : pour charges ponctuelles (poteaux) sur sol portant faiblement compressible (Figure 5).
- **Radier** : plateforme adaptée à un terrain peu stable, d'une surface correspondant à celle de la construction (Figure 6). Ce mode de fondation est utilisé dans deux cas :

Figure 5 : Les semelles isolées.



Source : <https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/ouvrage/fondations/typologie>

Figure 6 : Le radier.



Source : http://www.algerie.prix-construction.info/renovation/Structure_et_gros_oeuvre/Fondations/Radiers/Radier.html

– lorsque la capacité portante du sol est faible : le radier est alors conçu pour répartir les charges. Son étude doit toujours s'accompagner d'une vérification du tassement général de la construction

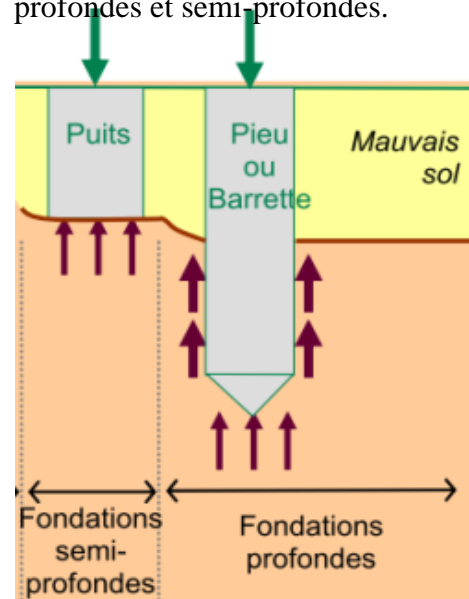
– lorsque le sous-sol d'un bâtiment est inondable : le radier joue alors le rôle d'un cuvelage étanche pouvant résister aux sous-pressions (Kassoul, 2016, 25).

6.1.2. Les fondations profondes et semi-profondes

Lorsque le terrain superficiel sur lequel repose une fondation n'est plus capable de résister aux sollicitations qui lui sont transmises, on a recours à creuser plus profondément, pour rencontrer la dureté d'assise adéquate (Figure 7). Ces fondations préfabriquées ou coulées sur place peuvent être :

- **Semi-profondes (puits)**: se situent entre trois et six mètres de profondeur.
- **Profondes (pieux, micro-pieux, barrettes)** : commencent au-delà de six mètres et peuvent atteindre plusieurs dizaines de mètres lorsque le terrain présente des risques de tassement ou d'éboulement. On distingue : les puits $\varnothing > 0,80\text{m}$ et les pieux $\varnothing < 0,80\text{m}$ ou micro pieux $\varnothing < 0,25\text{m}$

Figure 7 : Les fondations profondes et semi-profondes.



Source : mafuturemaison.fr

6.2. La superstructure

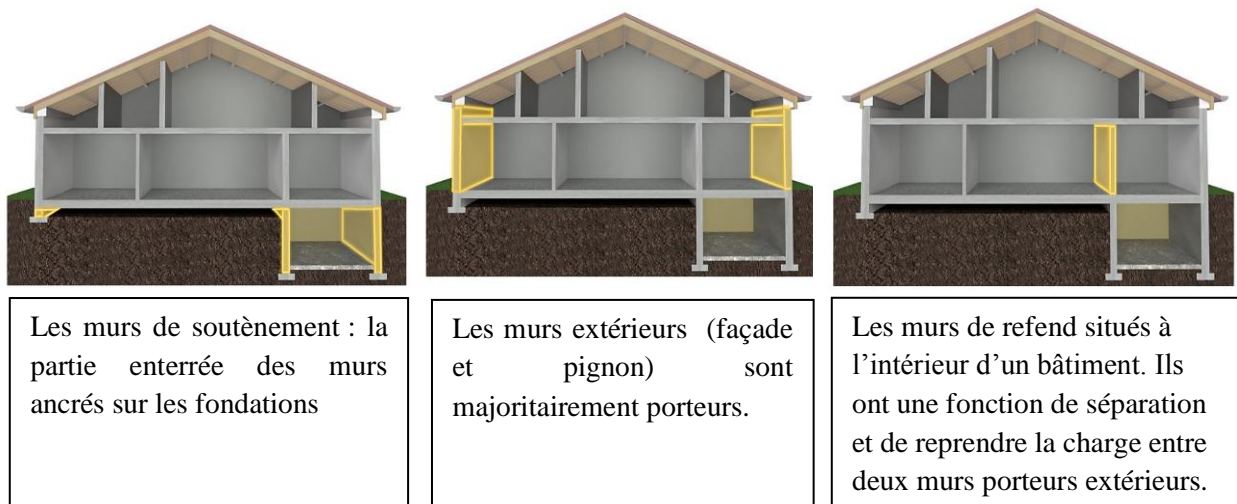
C'est la partie apparente de l'ouvrage est, sa fonction mécanique est de reprendre toutes les charges du bâtiment (poids propre, charges permanentes et d'exploitation et charges dynamiques) et de les transmettre à l'infrastructure. Il existe différents type de structure, on y distingue ces principales catégories qui varient selon les procédés et les matériaux :

- Les structures monolithiques
- Les ossatures (portiques, poteaux, poutres)
- Les trellis
- Les structure tendues et gonflables
- Les structures en coque et voile mince

6.2.1. Les structures monolithiques

Le mur porteur a toujours été utilisé dans la construction. Il est la forme la plus ancienne de superstructure. Il est utilisé que ce soit dans le bâtiment comme dans les édifices de défense ou dans les ouvrages d'art tels que les murailles, les murs de soutènement, murs de clôtures, etc. Le mur porteur constitue en général l'enveloppe verticale externe du bâtiment. L'épaisseur de ces murs dépend de la hauteur des bâtiments et de la dimension en plan qui les sépare (portée). Généralement, un mur porteur est reconnaissable à son épaisseur arrivant jusqu'au 50 cm pour les anciennes constructions et de 12 à 15 cm pour les constructions modernes. On distingue 3 sortes de murs porteurs : les murs de soutènement, les murs extérieurs et ceux de refend (Figure 8).

Figure 8: Les types de murs de soutènement.



Source : https://www.castorama.fr/idees-et-conseils/comprendre-les-structures-et-murs-porteurs/CF_CPRD_npcart_100433.art

Du point de vue architectural, le mur porteur pose deux problèmes à savoir il ne peut en aucun cas être déplacé ultérieurement et la surface d'ouverture possible dans ses parois est limitée.

Du point de vue constructif, il existe plusieurs types de murs porteurs :

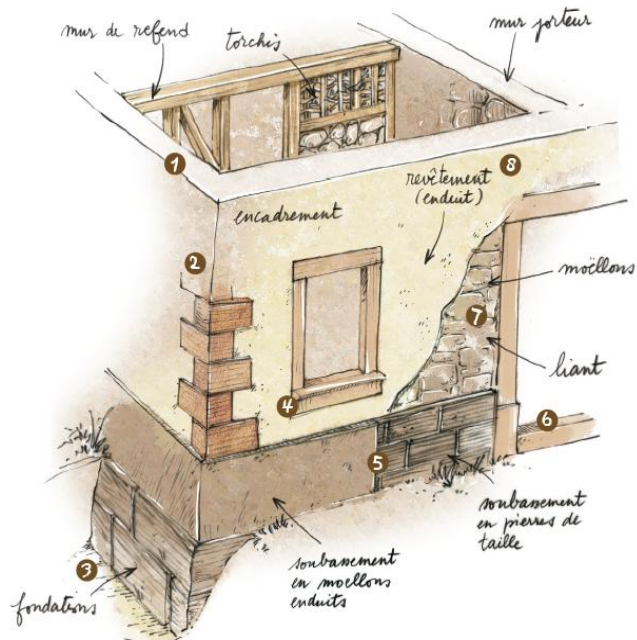
6.2.1.1. Les murs en maçonnerie de pierres (les plus anciens)

La plus grande dimension en plan d'une construction en maçonnerie de pierres devra être inférieure à 25m (Figure 9,10, 11). Ainsi, l'emploi des matériaux différents pour les murs porteurs est à éviter. En ce qui concerne les ouvertures, les proportions suivantes doivent être respectées et la surface totale des ouvertures dans les murs ne sera pas supérieure à 1/3 de la

surface totale du mur pour les zones de séismes faible ou moyenne, et 1/4 de la surface totale du mur pour les zones de sismicité forte.

Les blocs de pierre ont toujours eu des formes géométriques simples. Il est difficile d'établir leurs différentes valeurs car chaque roche varie suivant la zone dans laquelle elle se trouve. On remarque néanmoins une valeur commune qu'est leur grande résistance aux forces de compression (Ollivier, 2017 : 72).

Figure 9 : Le système constructif en pierre.



Source : <https://eco-renover.parc-vosges-nord.fr/comprendre-eco-renovation/le-bati-ancien-ce-qu-il-faut-savoir-avant-d-agir/la-maison-pierre.html>

Figure 10 : La citadelle, Annaba.



Source : <http://cnra.dz/atlas/la-citadelle/>

Figure 11 : La muraille, Vieille-Ville, Annaba.



Source : <http://cnra.dz/atlas/vieille-ville-de-annaba-vieille-ville-de-annaba/>

L'architecte Joze Plecnik (1872-1957) a réalisé une façade originale pour la façade du rez de chaussée de la bibliothèque nationale et universitaire de Ljubljana, dans l'actuelle Slovénie (Figure 12) où il a juxtaposé différents blocs de calcaire créant un relief irrégulier sur la façade (Ollivier, 2017 : 73).

Figure 12 : La bibliothèque nationale et universitaire de Ljubljana.



Source : <https://www.visitljubljana.com/fr/poi/bibliotheque-nationale-et-universitaire/>

6.2.1.2. Les murs en maçonnerie de briques

Aujourd'hui, un tiers de la population mondiale vit dans un habitat en terre. « Les constructions en terre peuvent être faites soit à partir de briques (cruées ou cuites) (Figure 13), et on parle alors d'adobe ; soit en élément d'un seul tenant, et on parle de pisé, de bauge ou de torchis suivant les techniques » (Ollivier, 2017 : 73). Vue qu'elle est essentiellement composée d'argile, la résistance mécanique de la terre se limite à sa résistance à la compression : entre 2 et 5 MPa.

Figure 13: Château d'Esquelbecq (France).



Construit au XIII^e siècle, Le château a une fonction défensive mais aussi une fonction résidentielle.

Source : https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Chateau_d%27esquelbecq.jpg

Les murs en maçonnerie de briques ont un style brutaliste où la brique fut perçue comme une protestation contre la rage de l'ornement (Figure 14). Le mur doit être montré dans sa nudité, dans toute sa beauté lisse, et tout ce qu'on lui surajoute doit être évité (Guiheux, 1985 ; 108-109).

Figure 14 : Monadnock de Burnhamet et Root (1891-1893).



Figure 15 : Maison du Chili Hambourg, Fritz Höger (1922-1924).



Source :

<https://structurae.net/fr/ouvrages/monadnock-building>

L'utilisation des matériaux bruts et les faire parler, la brique ici fait jaillir sa brutalité (Figure 15).

Source : https://fr.123rf.com/photo_54680782_grand-angle-de-la-c%C3%A9%8bre-maison-chilehaus-chile-%C3%A0-hambourg-en-allemande.html

5.2.1.3. Les murs en maçonnerie de pierres reconstituées (type parpaing constructif)

Les murs en béton simple, cyclopéen ou en béton armé (les plus récents) (Figure 16) ; La réduction des baies accentue l'impression « porteuse » du mur en béton armé, augmente la massivité et indique une épaisseur.

Figure 16 : Chapelle Notre-dame-du haut, 1956.



Source : <https://www.batiactu.com/edito/haute-saone-restauration-vue-chapelle-ronchamp-signe-61238.php>

6.2.1.4. Les murs en rondins de bois (pays froids)

Avantages : ils sont souples et résistants (Figure 17, 18); ils ont un faible poids propre (ce qui permet leur implantation sur des terrains de faible résistance ; la rapidité de fabrication et de mise en œuvre).

Page | 16

Inconvénients : leur faible porté ; leur combustibilité ; ils se déforment avec le temps (gonflement et retrait) et sous les charges ; leur sensibilité aux insectes.



Figure 17: Sea Ranch, Moore Lyndon Turnbull Whitaker et Berkeley, Californie USA. 1965.



Source : <https://www.dwell.com/article/sea-ranch-architecture-7f30ea15>

Figure 18 : Palais de Justice, Bordeaux, Richard Rogers en 1998.

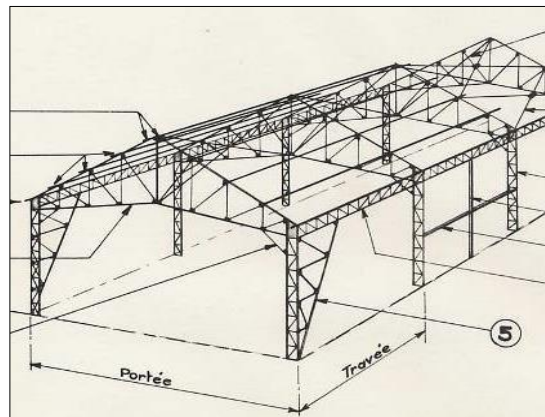


Source : <https://www.pinterest.com/pin/1759287334490226/>

6.2.2. Les ossatures

On entend par ossature complète une série de portiques espacés d'une certaine distance appelée Travée. Le portique est constitué de deux poteaux reliés par une poutre. La distance qui sépare ces poteaux porte le nom de Portée. Les portiques peuvent être en béton armé ou en acier (Figure 19). Le choix du matériau de construction dépend de plusieurs facteurs dont les principaux sont : la fonction du bâtiment, les dimensions en travée et en portée et la hauteur du bâtiment.

Figure 19 : Un portique en acier.



Source : <https://notech.franceserv.com/terminologie.html>

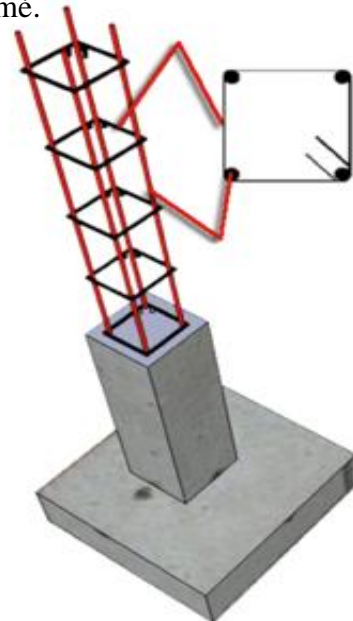
Les portiques en béton armé sont formés de poteaux et de poutres :

6.2.2.1. Les poteaux

Se sont des éléments verticaux en béton avec armatures incorporées. Ce sont des éléments porteurs chargés de reprendre les charges et surcharges issues des différents niveaux pour les transmettre au sol par l'intermédiaire des Fondations (Figure 20).

Les poteaux doivent reprendre des efforts de compression, de flexion due au vent et résister au flambement. Leur section doit présenter une bonne rigidité à la compression dans toutes les directions et en particulier suivant leurs axes principaux.

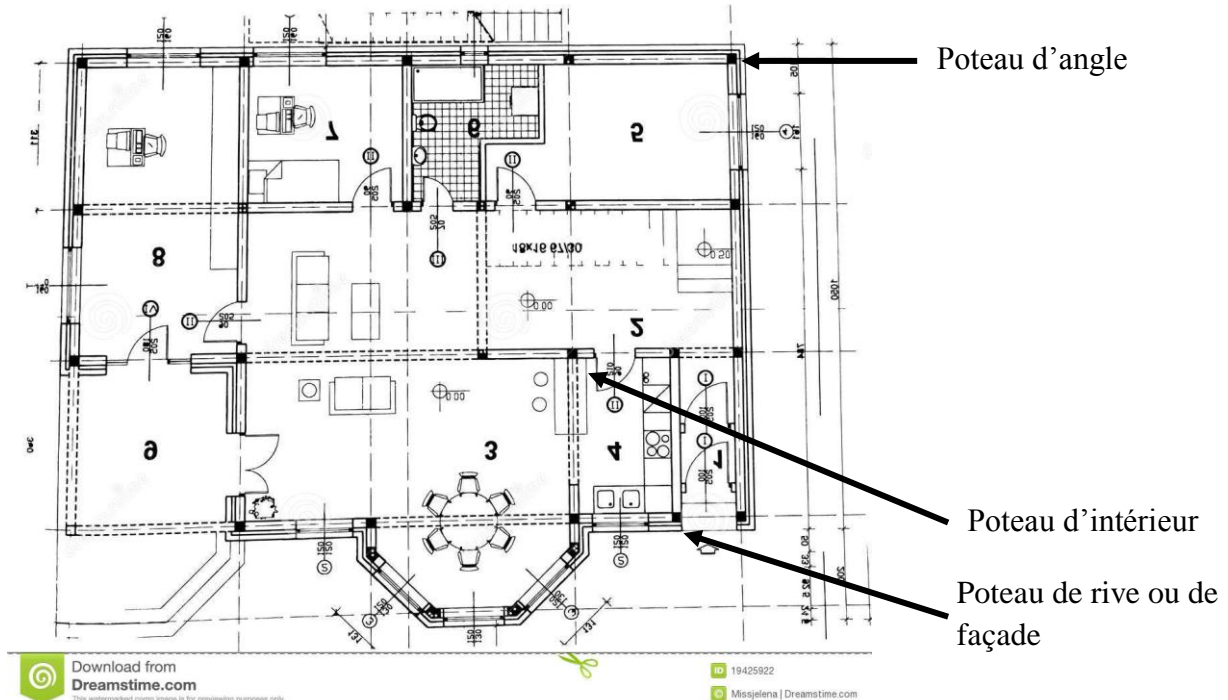
Figure 20 : un poteau en béton armé.



Source : <https://www.abc-maonnerie.com/technique/conseil/evaluations-des-murs/poteaux-en-beton-arme.html>

Suivant leurs emplacements dans la construction ils sont appelés : Poteaux d'angles, poteaux de rives ou de façades, poteaux d'intérieurs (Figure 21). Le dimensionnement des poteaux se fait généralement selon le plan d'architecture et la décente de charge. Leur distribution sur le plan se fait suivant une trame lisible.

Figure 21 : Vue en plan.



Source : <https://fr.dreamstime.com/photographie-stock-plan-architectural-image19425922>

6.2.2.2. Les poutres

Se sont des éléments horizontaux en béton avec armatures incorporées. Elles transmettent les charges qui leurs sont transmises par les éléments supérieurs mais aussi celles du vent et du séisme assimilées a des charges horizontales. Selon leurs positions elles sont appelées poutres de rive ou de refend. Elles sont aussi poutres principales ou secondaires (de chaînage). Les formes, dimensions et ferrillages des poutres sont déterminés par la composition architecturale et le calcul des charges. La portée maximale autorisée pour une poutre principale est de (7m50), la retombée visible d'une poutre est calculée entre 1/10 et 1/15 de la portée.

L'apparition de nouveaux matériaux et technologies a permis de réaliser des poutres droites de portée de plus en plus importante. Ce cas est illustré par l'élégante passerelle vers le fort Saint

–Jean à Marseille construite en béton à haute performance ou bien encre le BFUP (Figure 22), réalisé par l'architecte Rudy Ricciotti (Ollivier, 2017 : 39).

Figure 22 : La passerelle reliant le MUCEM et le fort Saint-Jean.



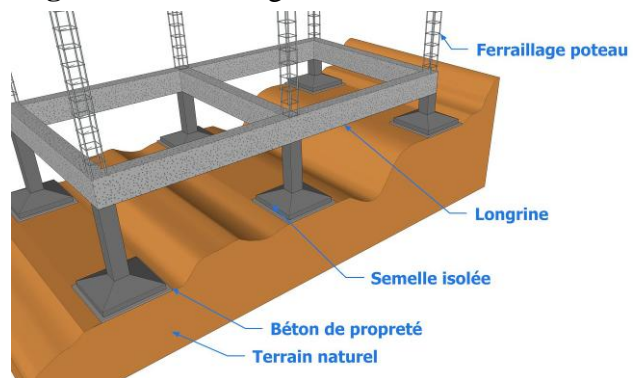
Source : <https://www.mucem.org/votre-visite/parcours-libres/du-j4-au-fort-saint-jean>

Dans ce type de système constructif toutes les charges sont reprises par les portiques. Les murs extérieurs sont soit non porteurs soit autoporteurs, tandis que les poutres sont des éléments horizontaux qui doivent reprendre essentiellement des efforts de flexion. Leur section est généralement rectangulaire pour les petites portées (< 15 m) et en forme de I pour les grandes portées (jusqu'à 30 - 35 m) ; il existe également des poutres à profil trapézoïdal, en T et en double T. Parfois, on distingue un premier réseau de poutres appelées principales qui s'appuient sur les poteaux et qui supportent un second réseau de poutres appelées secondaires.

Dans le cas où les poutres s'appuient directement sur le sol entre deux massifs de fondation, elles sont appelées longrines (Figure 23).

Les avantages du béton armé sont l'incombustibilité (elles résistent bien au feu) ; il ne se déforme pas avec le temps, il permet de longues portées et résiste bien à l'humidité. Tandis que ses inconvénients peuvent être résumé dans sa forte consommation de bois et d'aciers pour le coffrage ; son humidité pendant l'exécution et le retard dans l'exécution dû au durcissement du béton.

Figure 23 : Les longrines.



Source : <https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/ouvrage/fondations/typologie>

6.2.3. Les structures spéciales

6.2.3.1. Les treillis

Les treillis, ou système triangulés comme les appelle parfois, sont devenus l'un des types de structures les plus utilisés à partir de la révolution industrielle. Les treillis servent, en effet, d'éviter toute sollicitation en flexion où ses éléments, souvent appelés barres, ne travaillent ainsi qu'en traction et compression (Ollivier, 2017 : 35). Parmi ses avantages c'est qu'ils ne se déforment pas avec le temps, ils permettent de grandes portées, ils se posent et s'adaptent avec grande précision grâce à une préfabrication poussée et leur délai d'exécution est réduit (ils peuvent être facilement complétés ou démontés). Tandis que leurs inconvénients résident dans leur déformation au feu (mauvaise résistance au feu) et leur détérioration à l'humidité.

Le principe de la triangulation fut découvert, expérimenté et calculé grâce au développement du calcul vectoriel et c'est la tour Eiffel qui a été un jalon marquant dans l'histoire de la construction en treillis qui fait connaître et reconnaître les possibilités extraordinaires de la triangulation.

La tour Eiffel est une tour de 324 mètres construite en fer puddlé pour célébrer le bicentenaire de la révolution française lors de l'exposition universelle de 1889 (Figure 24). « Avec ses quatre pieds, la tour présente une forme optimale qui réside à la fois mieux aux efforts horizontaux de vent et à son poids propre que si elle avait été purement verticale : les quatre pieds permettent en effet de casser la tendance des éléments droits en compression à flamber et réduisant les efforts dus au vent grâce à la distance importante entre le centre de la tour et ses pieds » (Idem : 31).

Figure 24: La tour Eiffel, Paris.



Source : <https://www.paris-forever.com/la-tour-eiffel/>

Figure 25 : Le pont de Bayonne (1931) sur le kill à New York.

Certains considèrent le pont de Bayonne comme la plus élégante des travées en arc en treillis (Figure 25). La combinaison du triangle et de l'arc permet d'obtenir les énormes résistances exigées pour le franchissement d'espaces importants.



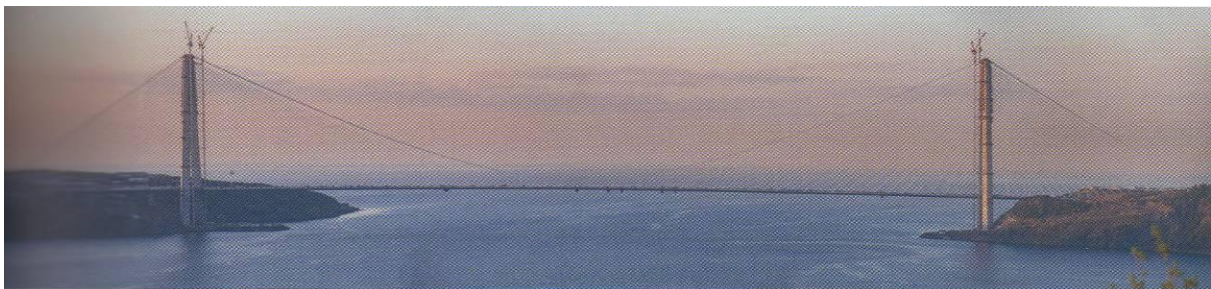
Source : <https://structurae.net/fr/ouvrages/bayonne-bridge>

6.2.3.2. Les structures tendues et gonflables

- Réseaux de câbles

Jusqu'à nos jours, les plus grandes portées (horizontales) sont réalisées par des structures suspendues et haubanées (Figure 26). De telles structures nécessitent l'emploi de câbles et de points d'ancrage naturels (rochers) ou artificiels (piles de ponts, anneau de compression, façade de bâtiment existant, etc) (Idem : 43). Les câbles utilisés dans ce type de structure sont constitués de paquets de fils métalliques enroulés hélicoïdalement autour d'un fil central : ces paquets sont appelés « torons » (Idem : 85). « Aujourd'hui les câbles le plus souvent utilisés pour des ouvrages d'art sont composés de torons parallèles protégés individuellement et couverts par une gaine. La gaine est profilée et peut présenter des reliefs spiralés pour réduire l'instabilité des haubans vis-à-vis du vent » (Idem : 86).

Figure 26 : Le pont Yavuz Sultan Selim sur le Bosphore à Istanbul.



Source : Ollivier, 2017 : 47

Figure 27 : Aéroport de Washington-Dulles, Virginie, 1958-1963.

Conçu par Eero Saarinen, la toiture de l'aéroport est formée d'un voile de béton de 10cm d'épaisseur supporté par des câbles en acier qui sont eux-mêmes accrochés à des poteaux inclinés (Figure 27).



Source : <https://fr.capitalregionusa.org/articles/trip-ideas-fr/5-raisons-de-choisir-l%E2%80%99a%C3%A9roport-international-de-washington-dulles>

- *Les tentes et les membranes*

Les membranes sont des structures qui n'ont pas connu un grand intérêt jusqu'au début des années 1960 après avoir été initialement l'objet de recherches pour l'industrie aérospatiale. De nature chimique, les membranes sont des surfaces couvrant de vastes espaces avec des « matériaux synthétiques résistant aux sollicitations et aux intempéries, surtout le polyester revêtu de PVC et le téflon renforcé par des fibres de verre, les membranes ont par la suite trouvé d'intéressantes applications » (art des structures, 2004 : 61). Leur stabilité est obtenue par un réseau de câbles constituant la structure portante principale sur laquelle est fixée une structure secondaire. Autrement dit, cette stabilité est issue « par la mise en tension de leur surface, au moyen de structures périphériques sur lesquelles elles s'appuient (en acier ou en aluminium généralement), en créant des formes paraboliques autostables, ou alors en les arrangeant de façon à former des volumes gonflables. Elles sont légères, très souples, et se dilatant facilement en présence de chaleur » (Ollivier, 2017 : 96).

Les trois principaux types de membranes actuellement utilisées sont: les membranes ETFE (Figure 28, 29) (un film) et les membranes PTFE (Figure 30) et PVC qui sont des tissus recouverts de polymères (Figure 31). « Le tissu assure la résistance mécanique alors que l'enduction de polymère par-dessus permet l'étanchéité, la protection vis-à-vis des poussières et autres agressions environnementales, accroissant par conséquent la durabilité de la membrane » (Ollivier, 2017 : 96).

Certaines formes sont spécifiques aux structures en membranes et qui sont :

- En forme de selle de cheval ou double courbure anti clastique qui peut être réalisée à l'aide de mâts et de câbles.
- Avec une arche sur laquelle vient se tendre la membrane.
- Avec des mâts isolés, formant des sortes de volcans fermés ou obstrués, ou des tentes ou des toitures en forme de vagues (Ollivier, 2017 : 55).

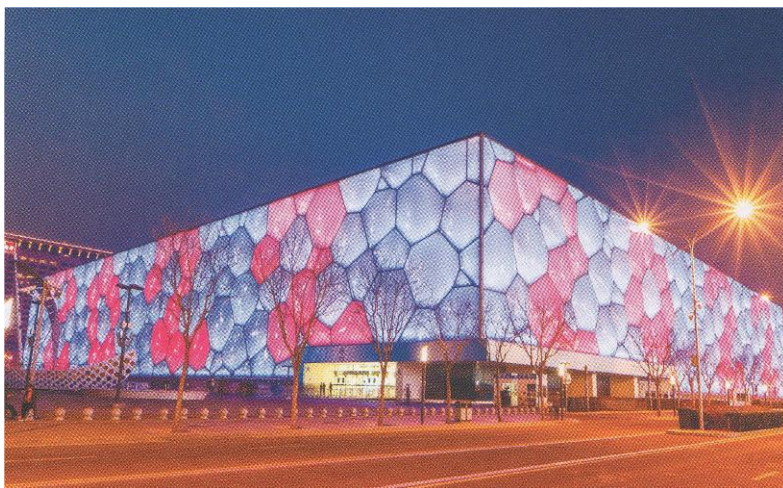
Figure 28: Le stade de l'Allianz Arena à Munich, Allemagne (2005).



L'emploi de coussins
ETFE en façade.

Source : Ollivier, 2017 : 98

Figure 29: Le bassin de natation pour les jeux olympiques de Pékin, Chine (2008).



Avec une façade de
coussins ETFE de
dimensions comprises
entre 1m x 2m à 8m x
11m, et dont les feuilles
extérieures sont
contrôlées en bleu pour
rappeler la fonction
aquatique du bâtiment.

Source : Ollivier, 2017 : 98

Figure 30 : Centre Pompidou-Metz.



La toiture est composée d'une membrane en fibre de verre enduite du PTFE sur une charpente en bois d'environ 8000 m².

Source : Ollivier, 2017 : 100

Figure 31 : Le pavillon Allemand pour l'Exposition universelle de Montréal conçu par Frei Otto, 1967.



Source :

<https://parcolympique.qc.ca/toiture/2018/06/29/qui-est-frei-otto-le-pere-de-la-technologie-des-toiles-tendues/>

Figure 32: Aéroport de Jeddah, Terminal Hajj.



Source : <https://structurae.net/fr/ouvrages/terminal-hajj-aeroport-international-du-roi-abdul-aziz>

La structure représentée dans ce projet, avec ses 425000 m² de surface couverte, est sûrement l'un des exemples les plus spectaculaires (Figure 32). Cette structure est caractérisée par un poids propre très faible et son montage n'a pris que trois mois.

- *Les membranes pneumatiques et volantes*

Ils « sont clairement les structures les moins développées aujourd'hui. Néanmoins, la découverte de nouveaux matériaux a permis à partir de la deuxième moitié du XX siècle de développer leurs usages » (Ollivier, 2017 :56). Le développement de cette structure a été rendu possible par l'introduction de matériaux suffisamment résistants dont les fibres de Nylon recouvertes par du caoutchouc néoprène (Muttoni, 2004 : 63). Dans le cas de cette structure, les charges sont reprises par la pression interne de l'air dans une membrane fine résistant bien aux efforts de traction (Figure 33).

Figure 33 : Pontiac Silverdome, 1975.



Ici la membrane couvre un stade de 80000 personnes

Source : <https://www.csmonitor.com/Business/2009/1118/new-tale-of-detroits-woe-silverdome-sold-for-583000>

Ils existent différents types de structures pneumatiques dont :

- Montgolfière : la montgolfière tient son nom de ses inventeurs, les frères Montgolfier. Si dès la fin du XVIII siècle, elle était à l'aide de simples feuilles de papier. « Aujourd'hui, les montgolfières sont fabriquées en nylon ou polyester enduit de polyuréthane ou de silicone pour éviter les pertes de volume d'air chaud dans le ballon » (Ollivier, 2017 : 56).
- Ballon dirigeable : « Un autre type de ballon concerne les mesures météorologiques. Ils sont de différents types suivants les mesures à effectuer (courtes ou longues, etc) mais généralement gonflés à l'hélium » (Ibid.).

- Boudins gonflés (Zodiac, Tensairity, ets) : En guise d'exemple, « une passerelle à Val Cenis dans les Alpes, conçues en 2005 par l'architecte Philippe Barbeyer et le bureau d'étude Charpente Concept, a utilisé le système Tensairity, utilisée en sous-tension d'une structure bois-acier. L'enveloppe est ici composée de fibres de verre recouvertes de silicone, avec une pression interne d'environ 0,2 MPa » (Ibid.) (Figure 34).

Figure 34 : Le pont de Val Cenis.



Source : <https://www.charpente-concept.com/realisations/pont-de-val-cenis/>

- Toiture en coussins ETFE : La couverture des surfaces importantes nécessite l'imbrication de structure porteuse rigide et des câbles et des feuilles d'ETFE entre lesquelles on insuffle de l'air en permanence (Ollivier, 2017 : 57). La toiture en coussins gonflables à l'aéroport de Munich, Allemagne : elle est composée de membranes soutenues par un réseau de câbles entrecroisés de couleur noire (Figure 35).

Figure 35 : Toiture en coussins gonflables à l'aéroport de Munich, Allemagne.



Source : Ollivier, 2017 : 57

6.2.3.3. Les structures en coque et voile mince

- Structures à simple courbure (ou presque)

Ces structures prennent la forme de cylindres tronqués à l'image d'une feuille de papier que l'on plie « à l'inverse des structures à double courbure, comme les coupoles ou les structures en membranes » (Ollivier, 2017 : 53). Une des premières voûtes connues à simple courbure et de grande ampleur, est celle de Ctésiphon construit vers 540, dans l'actuel Irak. Cette courbe construite en brique et d'une épaisseur d'un mètre au sommet, et de sept mètres au sol, elle présente une hauteur de 37 m et une largeur d'environ 25m (Idem : 52). Ainsi, de nombreuses surfaces courbes ont été réalisées dont le musée d'Orsay à Paris (Figure 36), la gare saint Pancras (Figure 37) et « la toiture de la gare routière de Salto en Uruguay, composée d'une série de sept voûtes à simple courbures, larges de 6m et longues de 12m de chaque côté des supports verticaux » (Idem : 53) réalisée par Eladio Dieste (1917-2000)

Figure 36 : L'intérieur du musée d'Orsay, Paris qui été à l'origine gare ferroviaire.



Figure 37 : Le hall d'arrivée des trains Eurostar dans la gare Saint Pancras de Londres, d'une portée de 73 mètres.



Source : Ollivier, 2017 : 52

- Les coupoles

Du point de vue structurale, le terme de coupole devrait être réservé aux toitures à plan circulaire ou elliptique. Nous pouvons considérer une structure de ce type comme une voûte en arc-de cloître, composée d'un nombre infini de voûtains devient infinitésimale, de sorte que les éléments porteurs sont constitués d'un nombre infini d'arcs, tous disposés radialement (Figure 38, 39).

Figure 38 : La coupole du marché de Valence achevée en 1928.



Source : Ollivier, 2017 : 55

Figure 39 : La coupole de la Galleria Vittorio Emanuele II.



Source : https://fr.123rf.com/photo_90207955_milan-11-septembre-coupole-en-verre-de-la-galleria-vittorio-emanuele-ii-centre-commercial-embl%C3%A9matique.html

Pier Luigi Nervi en collaboration avec l'architecte Annibale Vitellozzi ont marqué fortement l'histoire de la construction durant le XX siècle, en particulier avec leur dôme du palais des sports à Rome achevé en 1957 (Ollivier, 2017 :54). Sur son périmètre, le dôme constitué par une coque très mince en béton armé d'environ 60 mètres de diamètres pour une hauteur de 21 mètres, est soutenue par trente six chevalets en Y, disposés radialement et inclinés selon la tangente (Figure 40). De cette façon, les chevalets transmettent la poussée du dôme directement aux fondations.

Figure 40: Palais des sports à Rome, 1957.



Source: <https://www.gettyimages.fr/photos/biosph%C3%A8re-de-montr%C3%A9al>

Un dôme intégral d'un diamètre de 76 mètres et d'une structure composée d'un treillis spatial (Figure 41) a été réalisé par Richard Buckminster Fuller pour l'exposition universelle de Montréal en 1967 (Ibid.)

Figure 41: La biosphère de Montréal.



Source :

<https://www.azuremagazine.com/article/buckminster-fuller-montreal-biosphere/>

- Structures en forme de coquillage

Avec l'introduction du béton, il est devenu possible de construire des coques très minces en mesure de couvrir des portées relativement importantes. Le marché de Royan réalisé en 1956, en France (Figure 42), « est une coque en forme de coquillage, avec des ondulations en paraboloides sinusoïdales au nombre de 13. Le voile de béton a une épaisseur moyenne comprise entre 8 et 10 cm et chaque voûte forme un arc à trois articulations. La partie centrale de cette halle couverte de 4000m² (soit un diamètre d'environ 70 mètres) est parsemée de briques de verre permettant un éclairage naturel à l'intérieur » (Ollivier, 2017 : 53).

Figure 42 : Le marché de Royan.



Source : <https://www.c-royan.com/arts-culture/architecture/la-ville-au-fil-du-temps/1441-histoire-du-marche-central.html>

Cette forme structurale avait été exploitée par Felix Candela dans de nombreux autres projets dont le restaurant Los Manantiales à Xichimilco en 1957 (Figure 43). Sa portée interne est de 30 mètres avec une épaisseur de seulement 4 cm où les forces horizontales au niveau des appuis sont compensées par des barres de tractions entre appuis, sous la surface du sol pour rester invisibles (Ibid).

Figure 43 : Le restaurant Los Manantiales à Xichimilco.



Source: <https://www.admagazine.com/arquitectura/felix-candela-los-edificios-mas-importantes-20200525-6867-articulos.html>

Le CNIT(Centre des nouvelles industries et technologies) est principalement l'œuvre des architectes Robert camelot, Jean de Mailly, Bernard Zehrfuss et de l'ingénieur Nicolas Esquillan (1902-1989). La toiture du projet est un exemple moderne de voûte en éventail. Jusqu'aujourd'hui (Figure 44).

Figure 44 : Les voûtes en éventail du CNIT à Paris.



Source : <https://fracademic.com/dic.nsf/frwiki/385408>

Il constitue encore la plus grande portée au monde réalisée en voile mince de béton armée. « L'emprise au sol est de forme triangulaire (côté de 206 mètres pour une surface couverte d'environ 22000m²) et la hauteur d'environ 50 mètres » (Ollivier, 2017 : 54).

Pour augmenter la stabilité et limiter l'influence des charges variables, la structure est composée de deux coques plissées en béton armé, d'une épaisseur de seulement 6-12 cm, posées à une distance qui varie entre 1,90 et 2,75 m. Dans la vue ci contre, on voit distinctement les nervures situées sur les faites qui ont pour fonction de reprendre une partie des efforts des arcs en éventail (Muttoni, 2004 :89).

Conclusion

La structure influence l'espace autour d'elle. Elle n'est pas seulement un élément porteur mais, c'est l'aspect esthétique général (extérieur, intérieur), c'est le confort fonctionnel intérieur et c'est la forme extérieure (confort visuel, symbole et ornement de la façade).

La structure a une importance dans l'aspect final du bâtiment, sa composition volumétrique et son fonctionnement. En effet, la structure porteuse peut organiser l'espace par les biais de sa trame. Tandis que dans d'autres cas la présence de la structure est exacerbée et devient même un constituant fondamental de l'espace. La forme des structures et des sections d'éléments qui la composent joue un rôle important dans la stabilité et la résistance des constructions. Nombreux sont les facteurs entrant en compte dans la forme finale d'une construction dont la quantité de matériaux employée, la culture, la volonté et la capacité de transmission des savoirs d'une société (Ollivier, 2017 :24). En définitif, à chaque projet, une équation difficile doit être résolue prenant appui sur un dialogue fructueux entre tous les intervenants selon leurs convictions, leurs compétences, leurs finances, les lois en vigueur, les délais, et bien d'autres contraintes qui, pour être formulées, nécessitent à la fois de l'expérience et un certain talent (Idem : 23).

Chapitre 2 : Relation : forme et espace

Plan du chapitre

Introduction

1. La relation entre la forme et l'espace

1.1. La symbiose entre éléments positifs et négatifs

1.2. Les ouvertures

1.3. La circulation

1.3.1 L'approche

1.3.1.1 Frontale

1.3.1.2 Oblique

1.3.1.3 En spirale

1.3.2 L'entrée

1.3.3 La configuration du parcours

1.3.4 La relation entre les éléments du parcours

1.3.4.1 Passer par l'espace

1.3.4.2 Passer à travers les espaces

1.3.4.3 Se terminer dans un espace

1.3.5 La forme du parcours

Conclusion

Chapitre 2

Relation : forme et espace

Introduction

La forme et l'espace sont des aspects complémentaires et indissociables de l'architecture. C'est la forme d'un bâtiment est sa substance physique : les matériaux et les structures qui composent le bâtiment et qui enferment ou créent les espaces à l'intérieur. Ces espaces créés comprennent à la fois l'espace intérieur et l'espace extérieur, qui peuvent s'entrecroiser ou s'influencer mutuellement. Les paramètres qui contrôlent la forme et l'espace sont liés au rapport entre l'intérieur et l'extérieur.

1. La relation entre la forme et l'espace

Dans le langage architectural, la relation entre la forme et l'espace peut être considérée comme une relation solide-vide. Beaucoup d'architectes préfèrent utiliser d'autres termes pour exprimer cette dualité en se référant au rapport entre l'intérieur/ extérieur, dedans/ dehors. Ce rapport sera étudié à travers trois points : la symbiose des opposés (éléments positifs et négatifs), les ouvertures et la circulation.

1.1. La symbiose entre éléments positifs et négatifs

L'espace englobe le volume d'une structure, les parties d'un bâtiment que nous traversons et dont nous faisons l'expérience. Mais l'espace ne peut être créé que par l'utilisation de la forme. Cette dernière dépend de plusieurs facteurs dont le champ visuel de l'être humain. Le « champ visuel est généralement composé d'éléments hétérogènes qui diffèrent en taille, forme, couleur ou orientation » (Ching, 2019 : 102). Pour comprendre la structure du champ visuel, nous organisons ses éléments en éléments positifs perçus comme des figures et éléments négatifs servant de fonds de figures (Ibid.). Par exemple, nous reconnaissons « a » comme une lettre, mais nous la voyons aussi comme une figure ayant des profils distincts, placé sur un fond contrasté. Cependant, au fur et à mesure que leur taille augmente par rapport à leur champ, d'autres éléments à l'intérieur et autour d'elle commencent à compléter notre attention en tant que figures (Figure 45). « Par moments, la relation entre les figures et leur arrière-plan devient si ambiguë que nous permutons visuellement leur identité dans un va et vient presque simultané » (Ching, 2019 : 102). Nous devons donc comprendre que les figures et leur arrière-plan forment une réalité inséparable, une unité d'opposés, tout comme « des éléments de forme et d'espace qui constituent la réalité architecturale » (Ibid.).

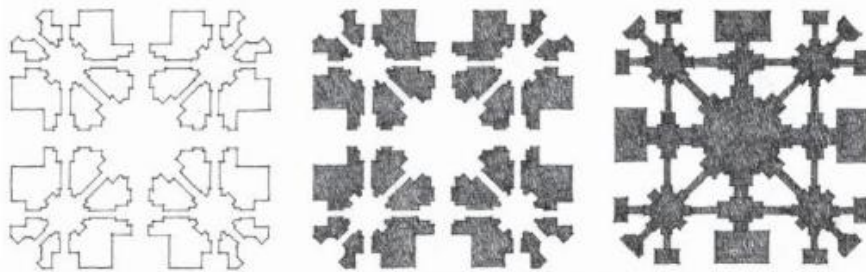
Figure 45: Rapport entre figures et arrières plans.



Source : Ching, 2019 : 102

La forme architecturale se produit à la jonction entre la masse et l'espace, Lorsque l'espace commence à être capturé, fermé, moulé et organisé par des éléments solides de masse, l'architecture voit le jour (Figure 46).

Figure 46: Plan Taj Mahal, Agra, Inde. 1630-1653.



A : Lignes définissant les limites entre le vide et la masse

B : La forme traitée en tant que figure

C : La forme du vide traitée en tant que figure

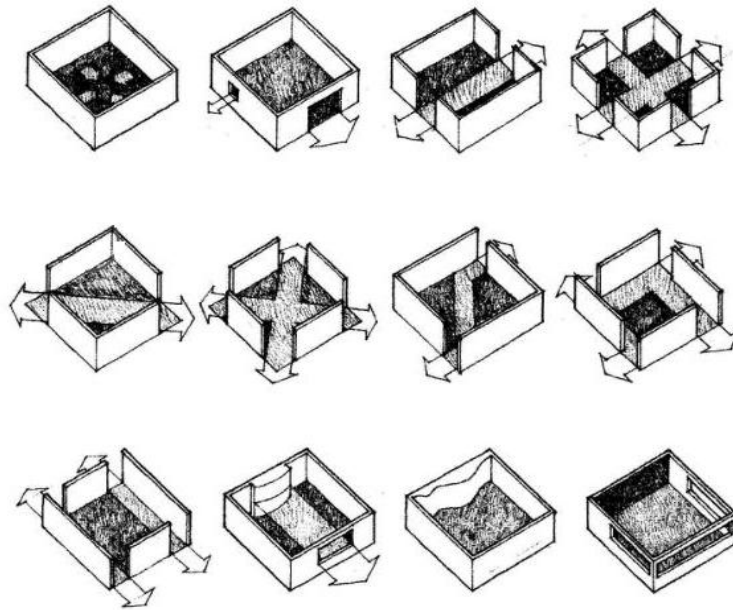
Source : Ching, 2019 : 103

La relation symbiotique des formes de la masse et de l'espace en architecture peut être examinée et se révéler exister à plusieurs échelles. À chaque niveau, nous devons nous préoccuper non seulement de la forme d'un bâtiment mais aussi de son impact sur l'espace qui l'entoure (Ching, 2019 : 104). À l'échelle urbaine, un bâtiment peut faire partie du tissu et contribuer à définir les rues et les places...ou être un objet autonome dans l'espace. À l'échelle d'un bâtiment, nous avons tendance à lire les configurations des murs comme les éléments positifs d'un plan. Cependant, l'espace blanc entre les murs ne doit pas être considéré simplement comme le fond du mur, mais aussi comme des figures dans le dessin qui ont une forme. Même à l'échelle d'une pièce, les objets d'ameublement peuvent soit représenter une forme dans un champ spatial, soit servir à définir la forme d'un champ spatial.

1.2. Les ouvertures

La fenêtre permet à la lumière du jour de pénétrer dans l'espace et d'éclairer les surfaces d'une pièce, offre des vues sur l'extérieur, établit une relation avec les espaces adjacents et assure une ventilation naturelle (Figure 47).

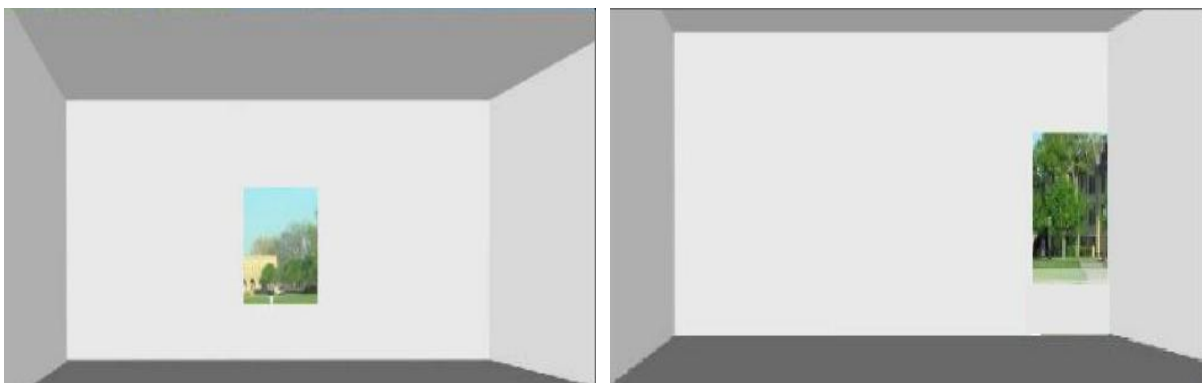
Figure 47 : Types d'ouverture dans l'espace



Source : Ching, 2019 : 174

Une ouverture centrée contribue à l'organisation visuelle de la surface qui l'entoure. Tandis qu'une ouverture décentrée « créera un certain niveau de tension visuelle entre l'ouverture et le bord du plan vers lequel elle a été déplacée » (Ching, 2019 : 176) (Figure 48).

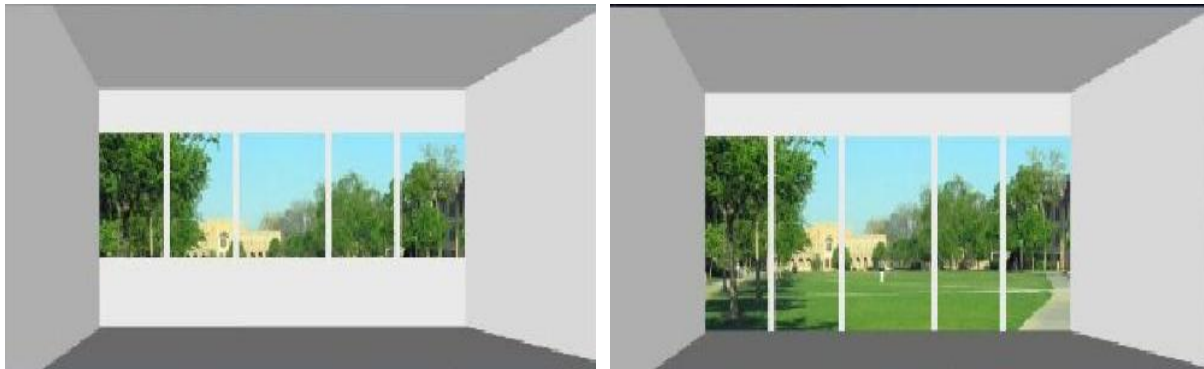
Figure 48 : Ouverture centrée et décentrée



Source : Rimbo, 2013 : 6

Les ouvertures multiples peuvent être regroupées pour former une composition unifiée avec un plan, ou être décalées ou dispersées pour créer un mouvement visuel le long de la surface du plan. Au fur et à mesure que la taille d'une ouverture sur un plan augmente, elle cesse d'être un élément dans un champ fermé pour devenir un élément positif en soi (Figure 49).

Figure 49 : Les ouvertures multiples et regroupées



Source : Rimbo, 2013 : 6

Les ouvertures d'angle situées le long des bords d'un espace affaiblissent visuellement les angles du volume. Lorsque ces ouvertures augmentent en nombre et en taille, l'espace perd son sentiment d'enfermement et la définition de l'angle deviendra de plus en plus difficile. Ainsi, La lumière pénétrante éclaire la surface du plan adjacent et perpendiculaire (Ching, 2019 : 178). « Le niveau d'éclairage peut être amplifié en ouvrant les deux côtés de l'angle ou en ajoutant un puits de lumière au-dessus de cette ouverture » (Ibid.) (Figure 50).

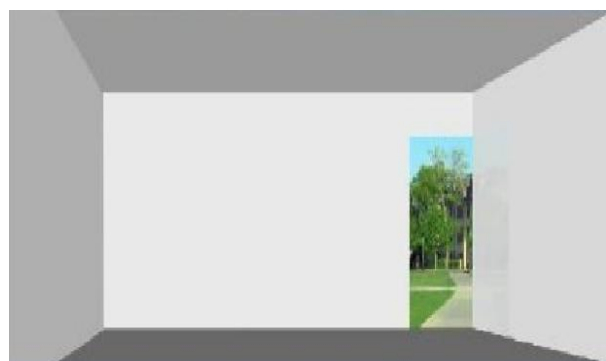
Figure 50 : Les ouvertures d'angle



Source : Rimbo, 2013 : 7

Figure 51 : Les ouvertures verticales

Une ouverture verticale s'étendant du plan de plancher au plan de plafond constitue un élément séparateur visuellement et articulateur des deux murs adjacents (Ching, 2019 : 180) (Figure 51).



Source : Rimbo, 2013 : 7

Une ouverture horizontale qui s'étend sur tout le long d'un plan de mur permet sa division en sections horizontales. Si la dimension de l'ouverture est peu importante, « elle n'altérera pas l'intégrité du plan de mur. En revanche, si sa taille augmente au point d'être plus grande que les deux sections supérieures et inférieures, alors l'ouverture deviendra un élément positif dans un cadre épais » (Ibid.) (Figure 52).

Une ouverture horizontale qui s'étend sur le plan d'un mur renforcera l'horizontalité de l'espace et offrira une vue panoramique sur l'extérieur. Si l'ouverture s'étend tout au tour de l'espace, elle commencera à soulever visuellement le plan du plafond par rapport aux plans des murs et donne une sensation de légèreté.

Figure 52 : Les ouvertures horizontales

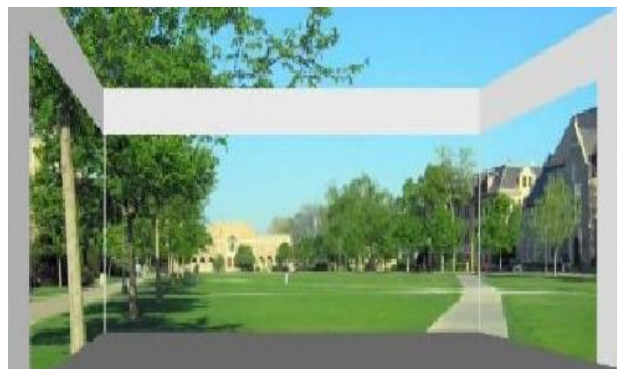


Source : Rimbo, 2013 : 6

L'emplacement d'un puits de lumière linéaire le long du bord où un mur et un plafond se rencontrent permet à la lumière du jour de toucher la surface du mur, de l'éclairer et d'accroître la luminosité de l'espace (Idem : 180).

La combinaison d'un mur-fenêtre avec un grand puits de lumière en surplomb obscurcit les frontières entre l'intérieur et l'extérieur (Figure 53).

Figure 53 : Baies vitrées et puits de lumière



Source : Rimbo, 2013 : 7

1.3. La circulation à travers l'espace

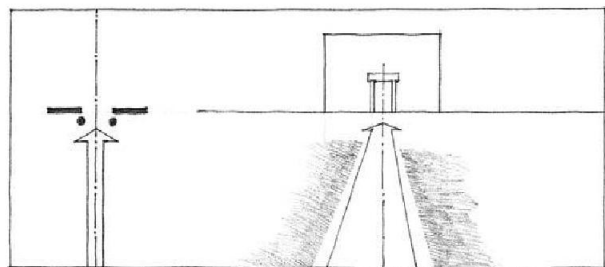
Tout plan, par la position des portes et des passages, crée des successions d'espaces : des séquences d'espaces jouant le rôle de fil conducteur « qui relie les espaces d'un bâtiment ou une série d'espaces intérieurs ou extérieurs » (Ching, 2019 : 252). Ce déroulement de situations successives donne des indications à l'utilisateur de l'espace et éveille en lui des émotions ressentis. Ces séquences sont composées de cinq éléments qui sont : l'approche, l'entrée, la configuration du parcours, relations parcours espace, forme de l'espace de circulation.

1.3.1. L'approche

Avant de pénétrer dans un bâtiment, nous nous approchons de son entrée en suivant un parcours. C'est la première phase du système de circulation au cours de laquelle, l'utilisateur commence à voir, à expérimenter et à utiliser l'espace. L'approche d'un bâtiment et de son entrée peut varier de quelques pas à travers un espace comprimé à un parcours long et détourné. Elle peut être frontale c'est-à-dire perpendiculaire à la façade principale, oblique ou en spirale à cela (Idem : 255).

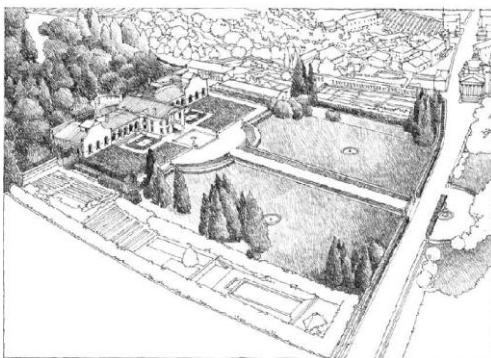
1.3.1.1. L'approche frontale : « Elle mène directement à l'entrée du bâtiment par un parcours droit et axial » (Ibid.) (Figure 54). Son itinéraire perpendiculaire à la façade principale permet une bonne visibilité de l'espace (Figure 55, 56).

Figure 54 : L'approche frontale



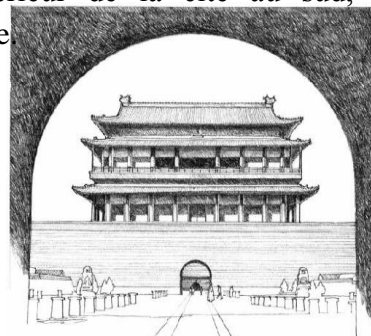
Source : Ching, 2019 : 255

Figure 55 : Villa Barbaro, Maser, Italie, 1550-1560, Andrea.



Source : Ching, 2019 : 256

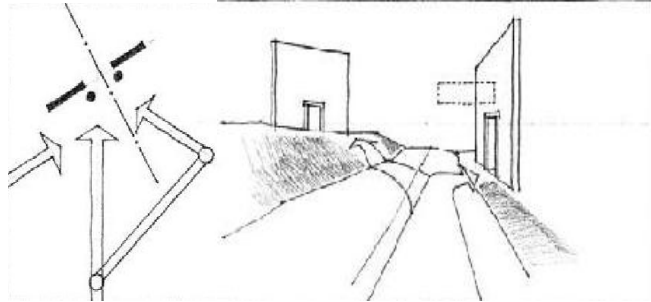
Figure 56 : La porte Qianmen assure le lien entre la cité interdite au nord et l'extérieur de la cité au sud, Pékin, Chine



Source : Ching, 2019 : 257

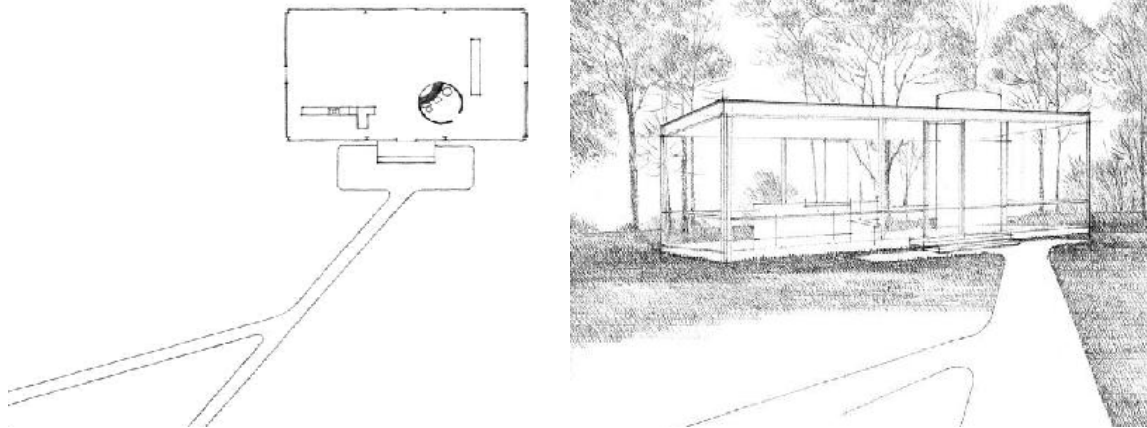
1.3.1.2. L'approche oblique : **Figure 57** : L'approche oblique

« Le parcours peut être redirigé une ou plusieurs fois afin de différer l'arrivée en prolongeant la séquence d'approche » (ibid.) (Figure 57). Elle renforce, par conséquent, l'effet de perspective sur la façade du bâtiment (Figure 58, 59).



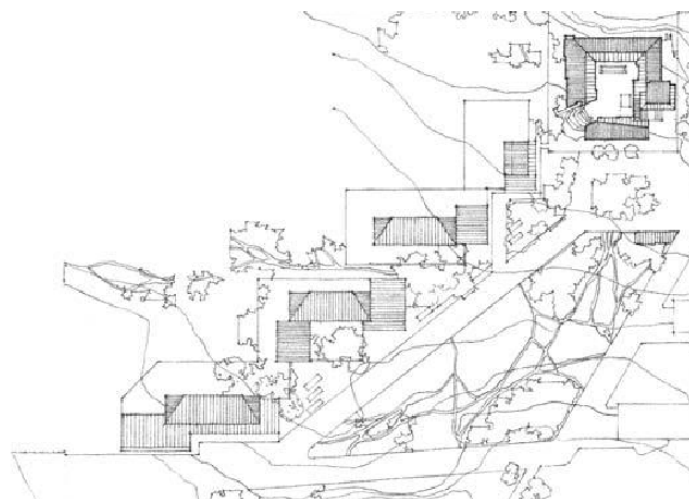
Source : Ching, 2019 : 255

Figure 58 : Maison de verre, New Canaan, Connecticut, Etat Unis, 1949, Philip Johnson.



Source : Ching, 2019 : 258

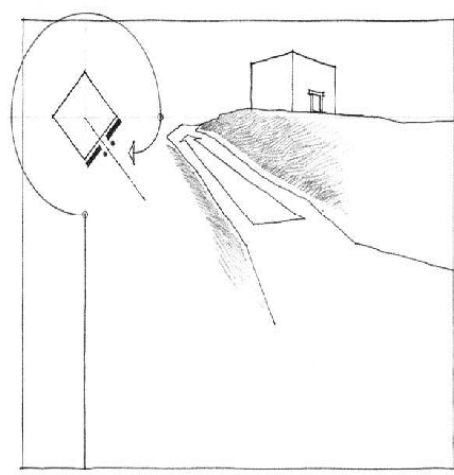
Figure 59 : Plan du site, mairie de Säynätsalo, Finlande, 1950-152, Alvar Aalto.



Source : Ching, 2019 : 258

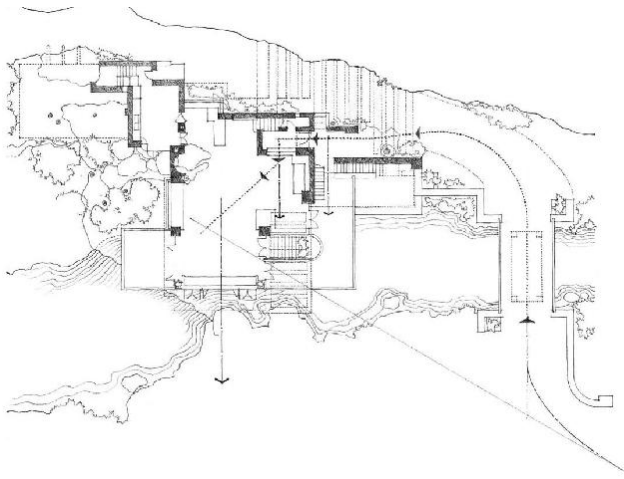
1.3.1.3.L'approche en spirale : un parcours en spirale permet une prolongation de l'approche et attire l'attention à la forme tridimensionnelle d'un bâtiment que nous déplaçons autour de son périmètre (Figure 60). Dans ce cas, l'entrée du bâtiment peut être aperçue par l'intermittence pendant l'approche afin de clarifier sa position ou bien être cachée jusqu'au point d'arrivée (ibid.) (Figure 61, 62).

Figure 60 : L'approche en spirale



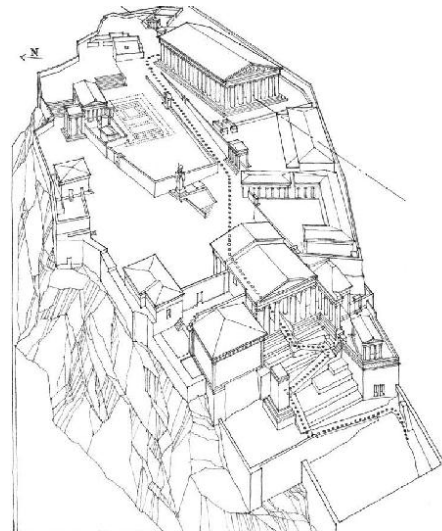
Source : Ching, 2019 : 255

Figure 61 : Maison sur la cascade (Maison Kaufmann), Etats Unis, 1936-1939, Frank Lloyd Wright.



Source : Ching, 2019 : 261

Figure 62 : Vue aérienne de l'Acropole, Athènes, Grèce.



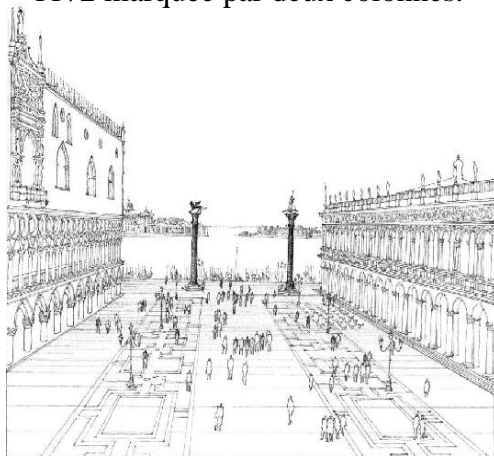
Source : Ching, 2019 : 260

1.3.2.L'entrée

Entrer dans un espace, une pièce dans un bâtiment ou un champ signifie un acte de traverser un plan vertical séparant deux espaces : intérieur (le dedans) et extérieur (le dehors). Cette séparation peut prendre plusieurs formes dont un passage maqué par deux colonnes (Figure 63) ou une poutre (Figure 64) ou une passerelle aérienne (Figure 65) dans le cas où le fait d'assurer une continuité visuelle et spatiale entre les deux espaces est souhaité (Idem : 262), une variation de niveau afin de marquer le passage d'un lieu à un autre et une ouverture dans le mur. Cette dernière « peut toutefois aller d'un simple trou dans le mur à une porte d'entrée

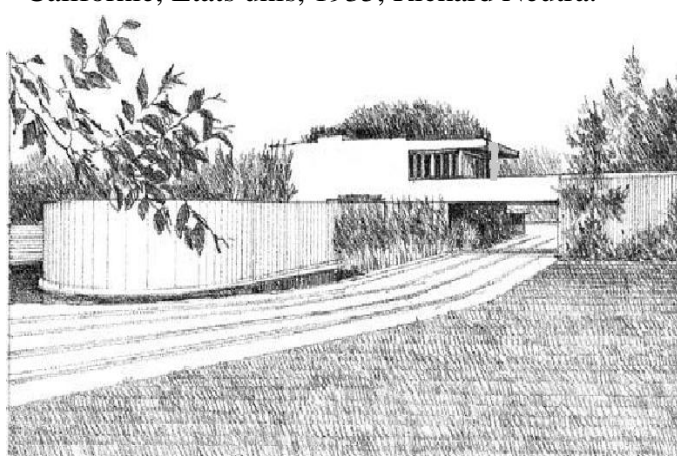
décorée et articulée » (Ibid.). En plus, l'utilisation des escaliers et des rampes « introduisent une dimension verticale et ajoutent une qualité temporelle à l'acte d'entrer dans un bâtiment » (Ching, 2019 : 274) (Figure 66). Spatialement, l'entrée dans un espace est mieux signifiée à travers l'établissement d'« un plan réel ou implicite, perpendiculaire au parcours d'approche » (Idem : 262) (Figure 67).

Figure 63 : Place Saint-Marc, 1172 marquée par deux colonnes.



Source : Ching, 2019 : 264

Figure 64 : Von sternberg House, Los Angelos, Californie, États unis, 1935, Richard Neutra.



Source : Ching, 2019 : 265

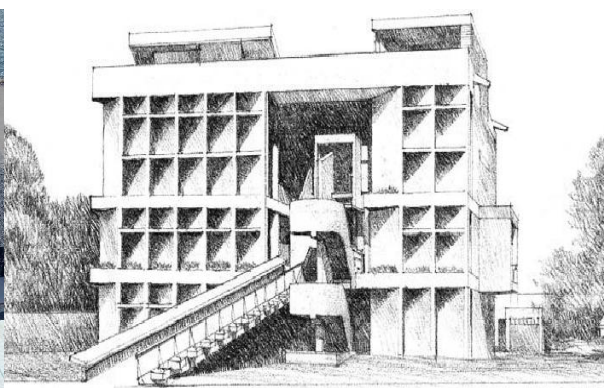
Figure 65 : Une passerelle liant le MUCEM et le fort Saint-Jean.



Source :

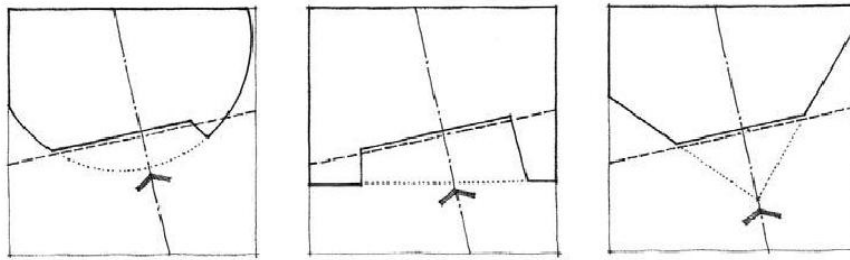
<https://twitter.com/mucem/status/715086453022265344>

Figure 66 : Palais des Filateurs, Ahmedabad, Inde, 1951, Le Corbusier.



Source : Ching, 2019 : 274

Figure 67 : Des entrées perpendiculaires au parcours d'approche.



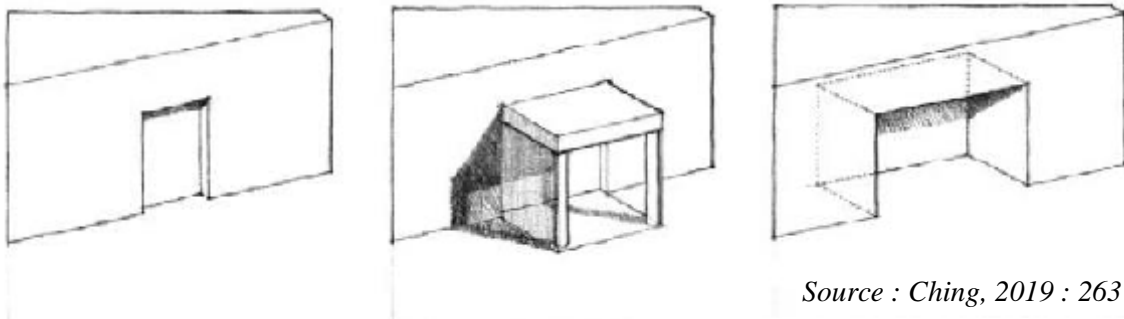
Source : Ching, 2019 : 262

D'un point de vue formel, les entrées peuvent être classées selon les catégories suivantes (Figure 68) :

- **À fleur** : maintient la continuité de l'espace
- **En saillie** : « crée un espace de transition, annonce sa fonction dès son approche et fournit un abri » (Idem : 263).
- **En retrait** : Fournit un abri et accueille une partie de l'espace extérieur à l'intérieur du bâtiment.

La notion d'entrée peut être visuellement renforcée à travers la conception d'une entrée plus basse, plus large ou plus étroite qu'attendu ; la création d'une loge entrée détournée et l'ornementation de l'ouverture (Ibid.).

Figure 68 : Les types d'entrée



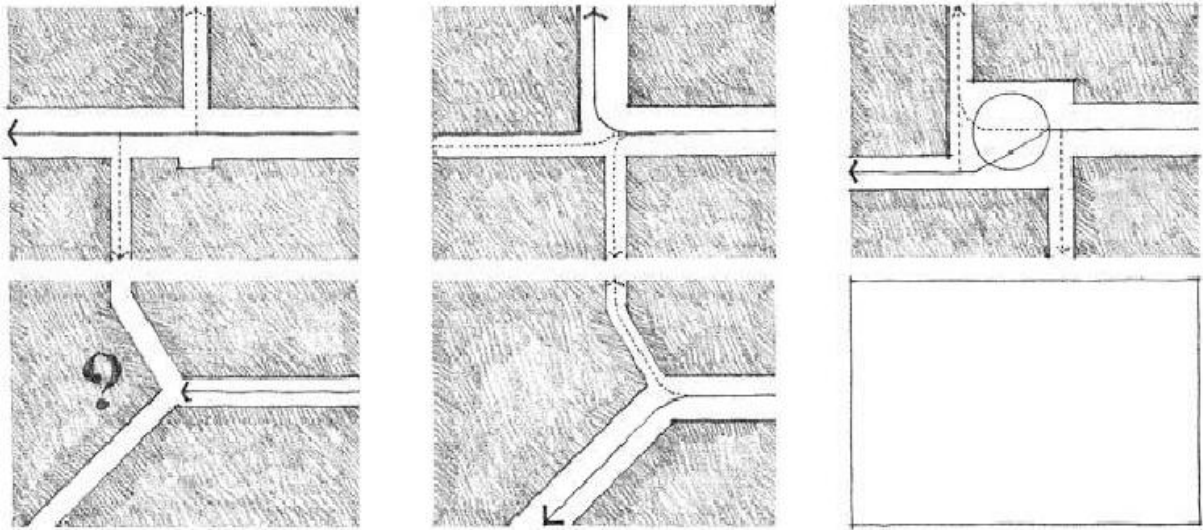
Source : Ching, 2019 : 263

1.3.3. La configuration du parcours

Le parcours de circulation permet de traverser, à partir d'un point de départ, une séquence d'espaces jusqu'à une destination (Idem : 276). L'intersection ou le croisement de parcours est un point important incitant un choix de la part de la personne qui s'en approche. À chaque

intersection, l'échelle de chaque parcours aide à distinguer les routes principales et les routes secondaires (Figure 69). La configuration d'un chemin peut renforcer une organisation parallèle ou « contraster avec la forme de l'organisation spatiale et servir à la contrebalancer visuellement » (Ibid.).

Figure 69 : Intersection et croisement des parcours.



Source : Ching, 2019 : 276

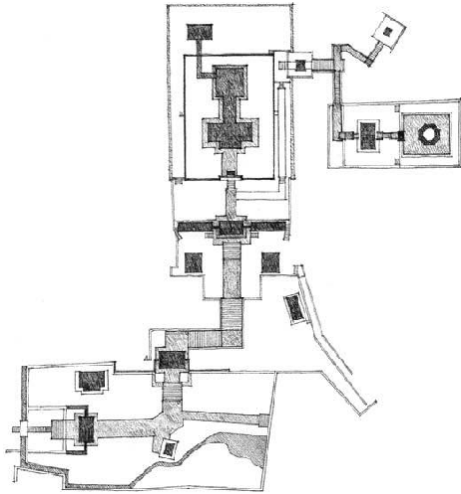
La visualisation mentale de la configuration du parcours dans son intégralité contribue à éclaircir notre orientation au sein de l'espace et notre compréhension de son schéma spatial. La configuration peut prendre différentes formes à savoir :

1.3.3.1. Linéaire : « tous les parcours sont linéaires. Un parcours doit peut toutefois représenter le premier élément d'organisation d'une série d'espaces. De plus, il peut être curviligne ou segmenté, créer une intersection avec d'autres parcours, posséder des branches ou former une boucle » (Ching, 2019 : 277) (Figure 70,71).

1.3.3.2. Radiale : cette configuration est exprimée à travers un point central à partir duquel partent des parcours linéaires (Figure 72).

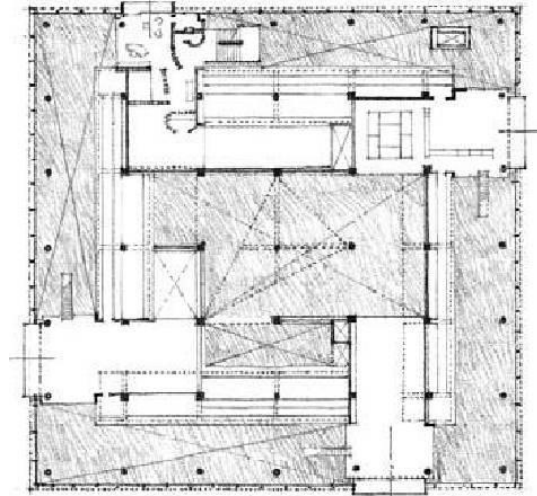
1.3.3.3. En spirale : « Une configuration en spirale est un parcours unique continu qui part d'un point central, s'enroule autour et s'en éloigne de plus en plus » (ibid.) (Figure 73).

Figure 70 : Un parcours segmenté au sein du mausolée de Taiyuin du sanctuaire de Toshogu, Nikko, Japon, 1636.



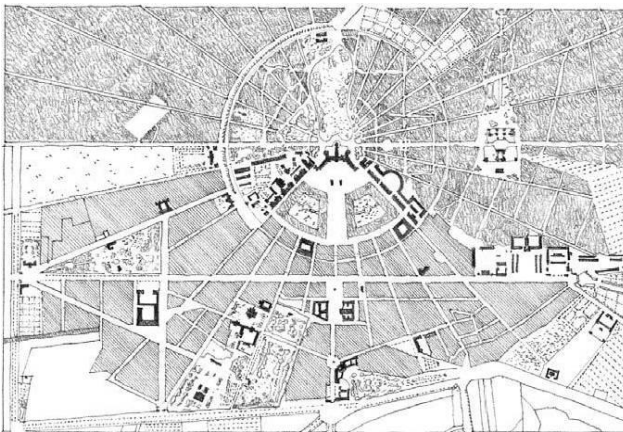
Source : Ching, 2019 : 278

Figure 71 : Parcours en boucle au musée national des beaux-arts de l'occident, Tokyo, Japon, 1955, Le Corbusier.



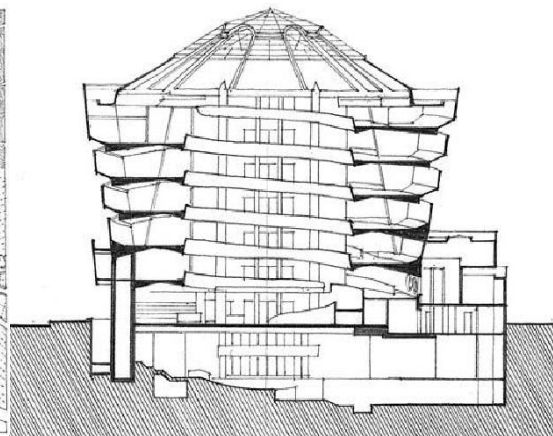
Source : Ching, 2019 : 284

Figure 72 : Un parcours radial, Karlsruhe, Allemagne, 1834.



Source : Ching, 2019 : 282

Figure 73 : Un parcours en spirale au musée Guggenheim, New York, États-Unis, 1943-1959, Frank Lloyd Wright.

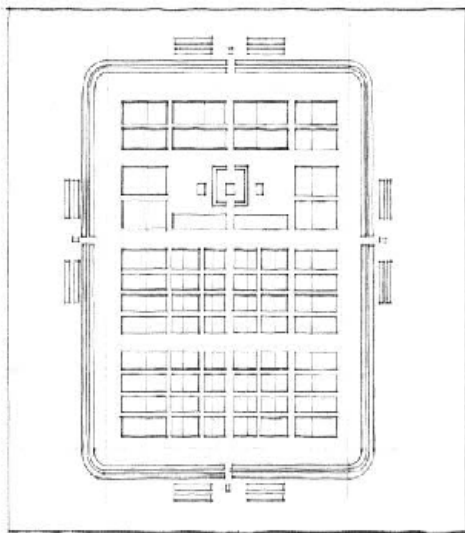


Source : Ching, 2019 : 285

1.3.3.4. Tramée : cette configuration est le fruit de l'intersection perpendiculaire de deux séries de lignes parallèles produisant un motif régulier (Figure 74).

1.3.3.5. En réseau : « Une configuration en réseau est constituée de parcours reliant des points établis dans l'espace » (Ibid.) (Figure 75).

Figure 74 : Parcours tramé, d'un camp romain, vers le 1^{er} siècle.



Source : Ching, 2019 : 286

Figure 75 : Parcours en réseau du Washington, États-Unis, 1792.



Source : Ching, 2019 : 289

1.3.4. Relations entre les éléments du parcours

Les chemins peuvent être liés aux espaces qu'ils relient par les manières suivantes :

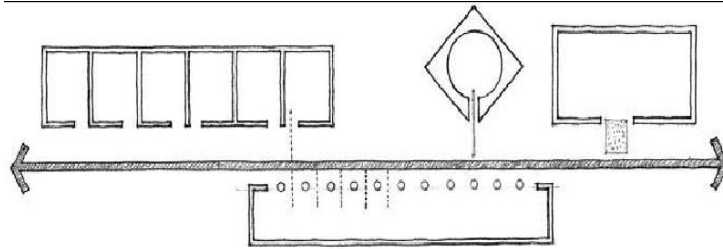
1.3.4.1. Passer par les espaces :

L'intégrité de chaque espace est maintenue (Figure 76);

La flexibilité du parcours est assurée (Figure 77);

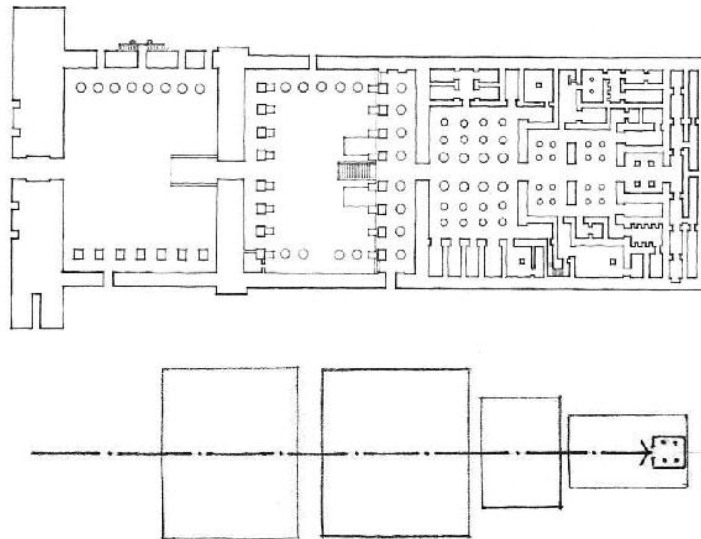
Des espaces intermédiaires peuvent être utilisés pour lier le chemin avec les espaces (Ching, 2019 : 290).

Figure 76 : Un parcours passant par les espaces



Source : Ching, 2019 : 290

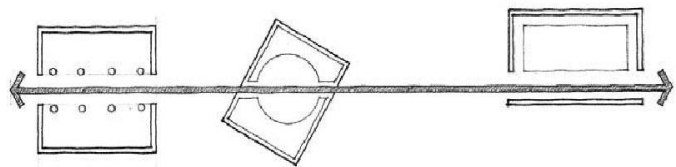
Figure 77 : Temple funéraire de Ramsès III, Médinet Habou, Égypte, 1193-1162 avant J-C.



Source : Ching, 2019 : 291

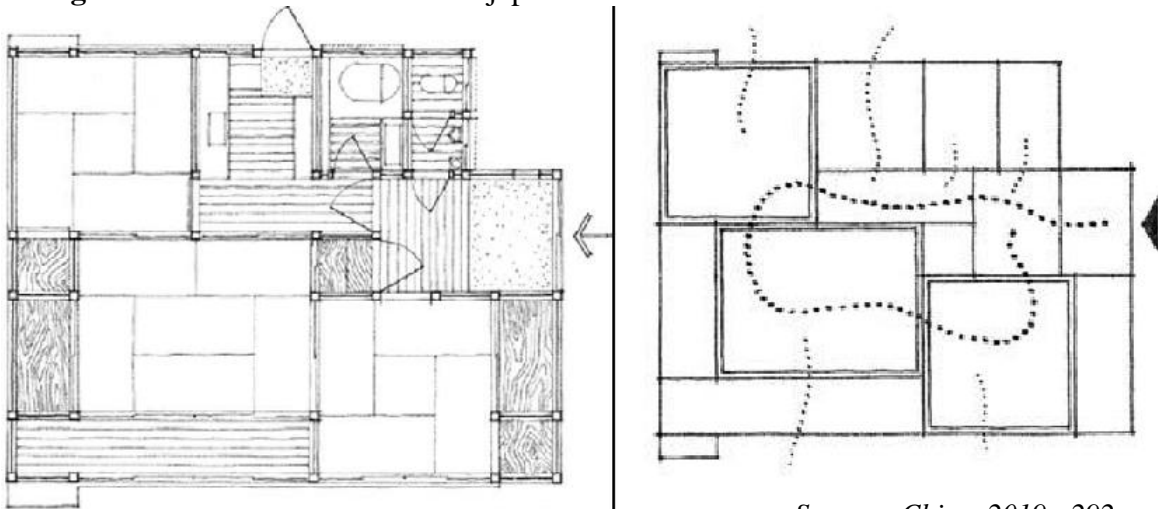
1.3.4.2. Passer à travers les espaces : « Le parcours peut traverser un espace de manière axiale, oblique ou le long d'un de ses cotés » (Ibid.) (Figure 78). Par conséquent, le parcours crée des motifs de repos et de mouvement en son sein (Figure 79).

Figure 78 : Un parcours passant à travers les espaces.



Source : Ching, 2019 : 290

Figure 79 : Maison traditionnelle japonaise.



Source : Ching, 2019 : 292

1.3.4.3. Se terminer dans un espace :

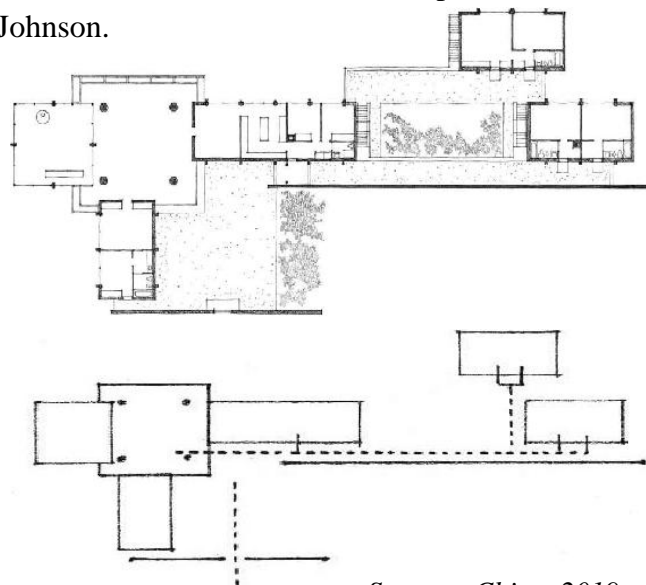
« L'emplacement de l'espace établit le parcours » (Ibid.) (Figure 80). Cette relation parcours-espace est utilisée pour approcher et entrer des espaces fonctionnellement et symboliquement importants (Ibid.) (Figure 81).

Figure 80 : Un parcours qui se termine dans un espace.



Source : Ching, 2019 : 290

Figure 81 : Eric Boissonas House II, Cap Bénat, France, 1964, Philip Johnson.



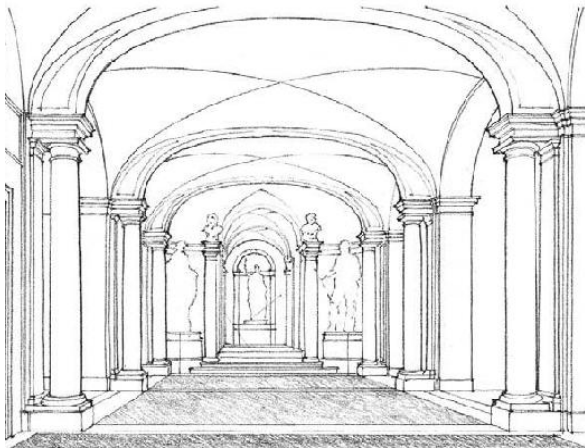
Source : Ching, 2019 : 293

1.3.5. La forme du parcours

Les espaces de circulation occupent une place importante dans l'organisation de tout bâtiment et leurs volumes font partie intégrante du volume de la construction. « La forme et l'échelle d'un espace de circulation doivent toutefois s'adapter au mouvement des personnes qui s'y promènent, s'y arrêtent, s'y reposent ou y restent pour le parcourir » (Ching, 2019 : 294). Un espace de circulation peut être :

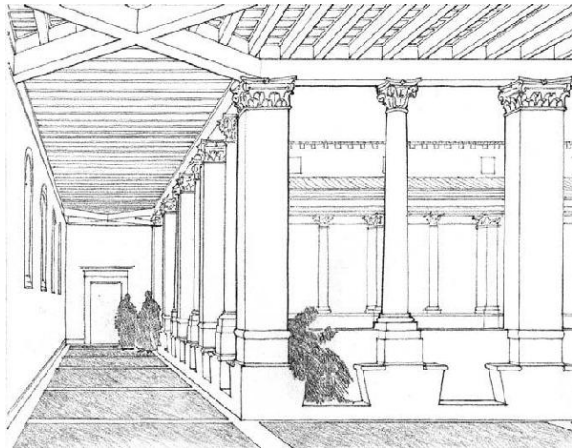
- **Clos** : Formant une galerie ou un couloir privé reliant les espaces par des entrées dans un mur (Figure 82).
- **Ouvert d'un côté** : formant un balcon ou une galerie fournissant une continuité visuelle et spatiale de l'espace qu'il relie (Idem : 295) (Figure 83).
- **Ouvert de deux côtés** : formant un passage en colonnade jouant le rôle d'une extension physique de l'espace qu'il traverse (Ibid.) (Figure 84).

Figure 82 : Un parcours enfermé d'un palais de la Renaissance.



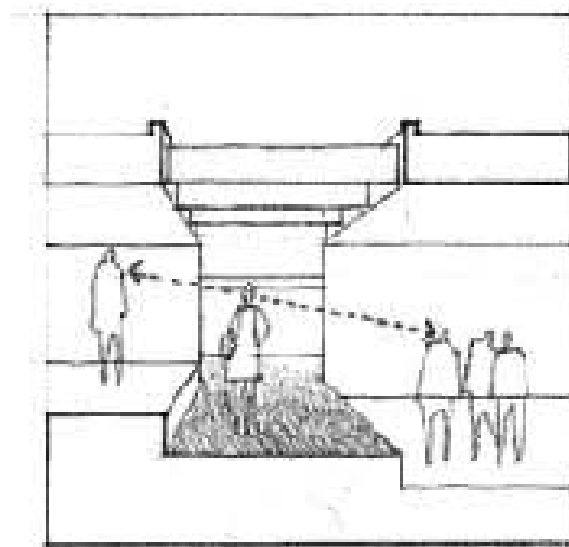
Source : Ching, 2019 : 296

Figure 83 : Un parcours ouvert d'un côté de santa maria della Pace, Rome, Italie, 1500-1504.



Source : Ching, 2019 : 296

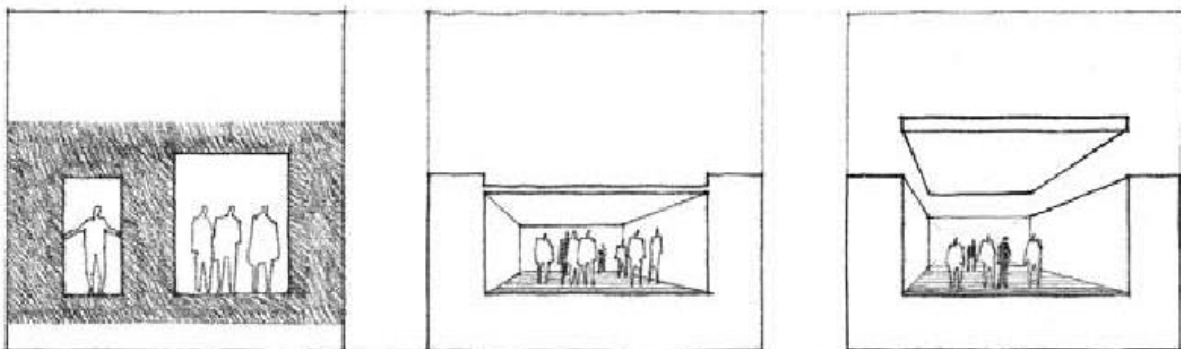
Figure 84 : Un parcours ouvert de deux côté.



Source : Ching, 2019 : 295

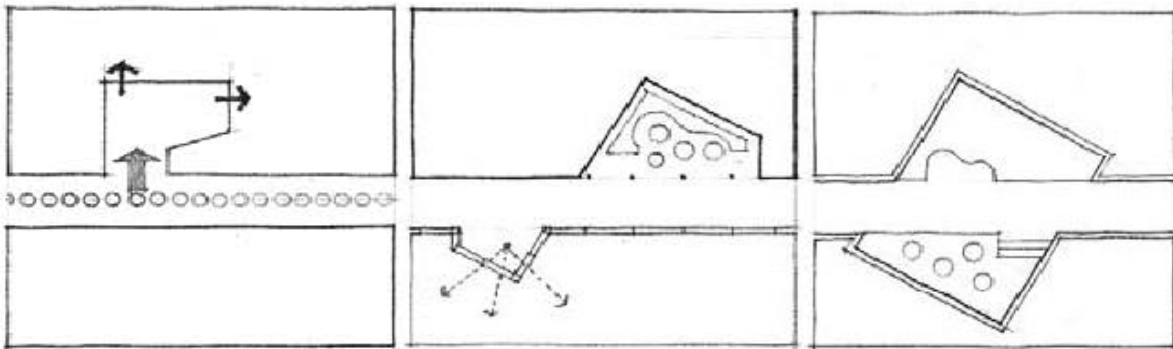
La largeur et la hauteur d'un espace de circulation sont proportionnées selon le type et la nature du mouvement qu'il doit gérer (Figure 85). De ce fait, une distinction d'échelle devrait « être établie entre promenade publique, un hall privé et couloir de service » (Ibid.).

Figure 85 : La largeur et la hauteur de l'espace de circulation selon le trafic et la nature du mouvement.



Source : Ching, 2019 : 295

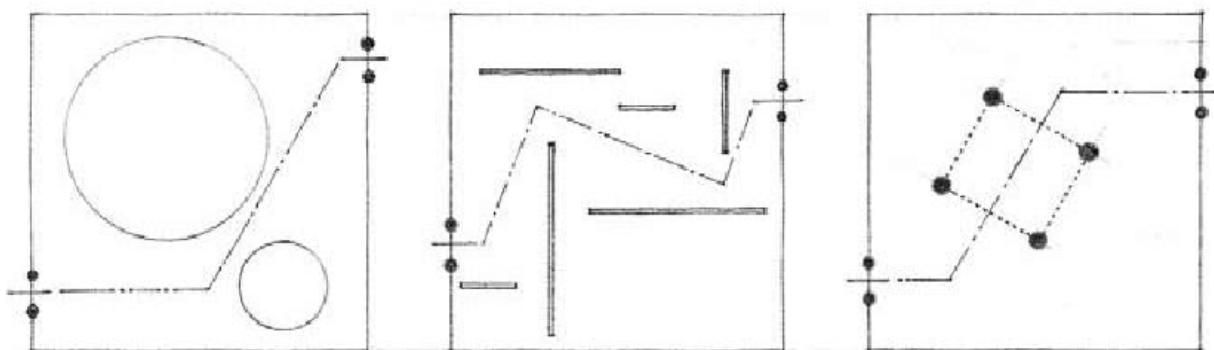
Figure 86 : Des parcours avec des espaces de repos, d'arrêt et de contemplation.



Source : Ching, 2019 : 295

Le chemin étroit fermé encourage un déplacement vers l'avant. Pour accueillir plus de trafic ainsi que pour ajouter à la fonction de déplacement une touche de plaisir par le biais des espaces de repos, des espaces d'arrêts et des espaces de contemplation, certaines parties du parcours peuvent être agrandies (Ibid.) (Figure 86). Dans certains cas le parcours peut être aléatoire et déterminé par les activités, l'aménagement et le mobilier de l'espace (Figure 87).

Figure 87 : Des parcours déterminés par les activités et l'aménagement de l'espace.

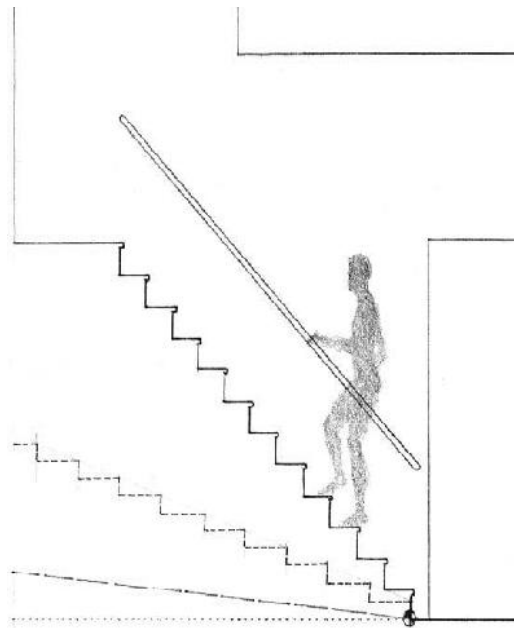


Source : Ching, 2019 : 295

- **La circulation verticale**

Les escaliers sont des éléments de déplacement verticaux entre les niveaux d'un bâtiment ou avec les espaces extérieurs. À part le fait de changer de niveau, selon sa forme et sa position, l'escalier permet de renforcer la direction du parcours, interrompre ce parcours, changer de direction du parcours et terminer le trajet. La pente de l'escalier doit être bien proportionnée afin de s'adapter aux mouvements du corps et éviter toute ascension physique fatigante et toute sensation périlleuse (Figure 88).

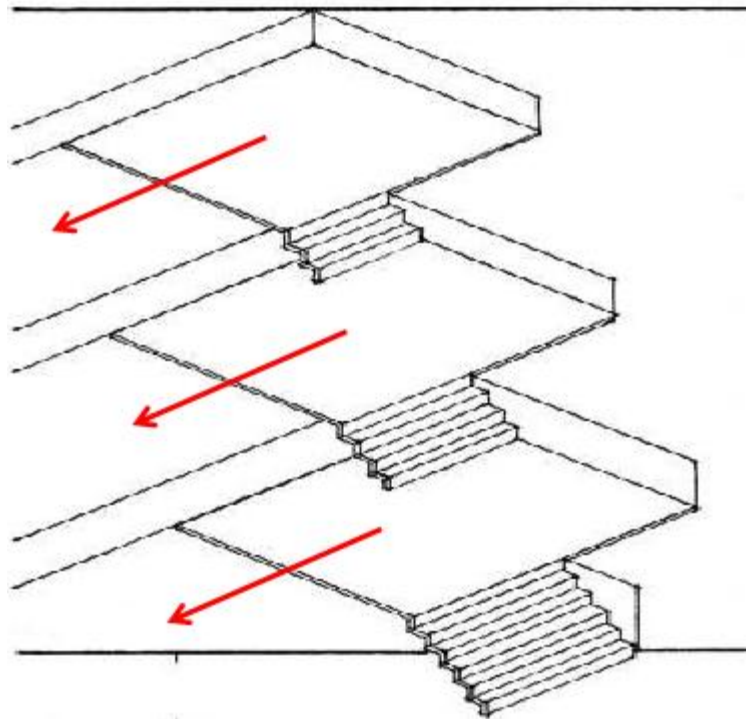
Figure 88 : La pente de l'escalier doit être bien proportionnée.



Source : Ching, 2019 : 298

Les escaliers peuvent « renforcer la trajectoire du mouvement, l'interrompre, articuler un changement ou arrêter ce mouvement avant l'entrée dans un espace important » (Ibid.). Ils peuvent être droits, en L, en U, circulaire et en spirale. Ils peuvent longer un côté autour des limites d'un espace, s'exprimer comme une forme sculpturale ou jouer le rôle d'élément d'organisation liant une série d'espaces à différents niveaux (Figure 89).

Figure 89 : Des escaliers organisant un espace à différents niveaux.



Source : Ching, 2019 : 301

Conclusion

La présence visuelle de l'espace, ses dimensions et son échelle dépendent de la perception de l'individu des limites spatiales définies par les éléments formels (Ching, 2019 : 100). La continuité spatiale et visuelle entre différents espaces n'est envisageable qu'à travers d'un côté « les ouvertures pratiquées dans les plans enfermant un champ spatial » (Idem : 174) et d'un autre côté la conception de parcours pour nos déplacements liant un dedans et un dehors. Ces parcours sont considérés comme des « éléments positifs influant sur notre perception des formes et espaces de cette construction » (Idem : 252).

Chapitre 3 : Relation : forme et fonction

Plan du chapitre

Introduction

1. Le courant fonctionnaliste en architecture : quand la forme suit la fonction
2. La programmation architecturale
3. Le programme architectural
4. Comment analyser un programme ?
 - 4.1.La matrice
 - 4.2.Le diagramme à bulles
 - 4.2.1 Méthodologie d'élaboration d'un organigramme à bulles
5. Le Zoning

Conclusion

Chapitre 3

La relation : forme et fonction

Introduction

Comme le décrit Vitruve en 25 av. J.-C., l'architecture naît à partir d'une combinaison optimale de firmitas, utilitas et venustas, c'est-à-dire de fermeté, de fonctionnalité et de beauté. Plus précisément, cette triade Vitruvienne prend appui sur la fermeté qui signifie la solidité du bâtiment et le bon choix de ses matériaux de construction, la beauté exprimant l'esthétique de l'aspect extérieur de l'œuvre. Tandis que la fonctionnalité signifie l'agencement des pièces et des espaces de manière à ce qu'il n'y ait aucune difficulté d'utilisation du bâtiment et qu'il sera parfaitement adapté à son emplacement (Roth, 1993).

Le problème des études de la relation entre la fonction et la forme architecturale fait l'objet d'un certain nombre des études (Alihodzic, Murgul et Vatin, 2014 : 495). Certains architectes s'inscrivant sous le courant formaliste commencent leurs projets en pensant à l'aspect formel du bâtiment exprimant clairement que la forme est la plus dominante et la plus imposante et d'autres en pensant au fonctionnement du bâtiment sont inscrits au courant fonctionnalisme. Cependant, pour créer un bon produit architectural, les deux approches sont nécessaires. Nous nous intéresserons dans ce qui suit par le courant fonctionnaliste.

1. La relation entre la forme et la fonction

Pour réussir un projet d'architecture, il faut prendre en compte de nombreux principes lors de la conception et tout au long du processus, la forme et la fonction d'un bâtiment étant l'un des principes majeurs à prendre en compte lors de la conception. Dans la conception architecturale, il n'y a pas de règle exacte pour savoir si la Fonction doit suivre la Forme, ou si la Forme doit suivre la Fonction, ou si la Fonction et la Forme vont de pair, mais les relations entre la Fonction et la Forme se fondent en une seule méthode vers l'expression de la Forme architecturale, de sorte que cette relation Fonction-Forme sera interprétée par l'observateur vers l'expression de la création architecturale elle-même.

2. Le courant fonctionnaliste en architecture : quand la forme suit la fonction

Au XXe siècle, le slogan développé par l'architecte américain Louis Sullivan "La forme suit la fonction" est devenue la devise des architectes modernistes après les années 1920. Il signifiait que "l'évaluation de la forme architecturale, loin d'être autonome, est intrinsèquement liée à la manière dont celle-ci satisfait à ses « fonctions »" (Thibault, 2012 : 1). Autrement dit, en s'opposant au néoclassicisme qui donne de la valeur symbolique aux formes décoratives inspirées de l'Antiquité, la forme doit être définie comme un pur produit de la fonction (Alihodzic, Murgul et Vatin, 2014 : 495), et les dimensions artistiques du projet architectural doivent être négligées au détriment de la fonction puisque les éléments décoratifs, appelés "ornements", sont inutiles dans les bâtiments (Roth, 1993). Cette approche a été développée plus avant par l'architecte autrichien Adolf Loos. Il a écrit que "l'ornement est un crime" et a fait valoir que toute décoration sur un bâtiment était à la fois superflue et inutile (Ibid.). La pensée de ces deux architectes a été le fil déclencheur de la propagation de la notion de « fonctionnalisme architectural » comme un courant à part entière, après la seconde guerre mondiale (Thibault, 2012 : 1), « jusqu'à devenir un quasi-synonyme d'une architecture moderne qui subordonnerait les considérations artistiques à l'efficacité constructive, programmatique, utilitaire et sociale » (Ibid.).

Les modernistes se sont inspirés des objets industriels, des machines et des usines, car ils les considèrent comme de beaux exemples d'une conception fonctionnelle, simple et intègre. Ils ont présumé que les bâtiments devaient également fonctionner comme de bonnes machines en

développant un concept appelé "esthétique des machines" permettant l'introduction d'une telle esthétique dans leurs propres bâtiments (Roth, 1993).

Les premiers exemples de ce type d'architecture sont le Guaranty Building (anciennement appelé Prudential Building) conçu par Louis Sullivan et Dankmar Adler, à Buffalo, New York (1896) où chacune des trois formes des baies vitrées de la façade du bâtiment devrait exprimer une fonction (Figure 90), l'usine de turbines AEG, à Berlin, en 1908-09 par Peter Behrens et l'usine Fagus par Walter Gropius en Allemagne (Figure 91). Dans les deux cas, la forme du bâtiment a été totalement déterminée par les processus industriels internes qu'il contenait (Roth, 1993). Dans les années 1920, de nombreux exemples ont été réalisés et dont l'un

Figure 90 : Le bâtiment Guaranty, l'un des chefs-d'œuvre de Louis Sullivan.



Figure 91 : L'usine Fagus dessinée par les architectes Walter Gropius et Adolf Meyer.



Source : <https://fr.scribd.com/document/434930998/Week-13-lecture-notes-07-jan-2014-pdf>

des projets précurseurs fut le fameux Bauhaus de Walter Gropius à Dessau en Allemagne (Figure 92), suivi par un grand nombre de projets des deux architectes célèbres Le Corbusier en France, et Ludwig Mies van der Rohe en Allemagne. Un autre architecte qui a adopté ce courant est l'architecte finlandais Alvar Aalto où dans la bibliothèque de l'université de Jyväskylä en Finlande (1967-71), il a conçu chaque espace de la meilleure façon possible pour en permettre une meilleure utilisation (Figure 93). En regardant de l'extérieur, on peut comprendre la fonction de chaque espace (Roth, 1993). En 1940, le modernisme est devenu le style architectural dominant dans le monde entier.

L'architecture moderne a adopté le "fonctionnalisme" en architecture comme un principe selon lequel les architectes doivent concevoir un bâtiment en fonction de sa destination plutôt qu'en fonction des concepts esthétiques traditionnels (Roth, 1993). Elle a cherché avant tout la primauté de la fonction dans l'architecture, la simplification de la forme et l'élimination de l'ornement. Le terme de fonction, tel qu'il s'est diffusé au XXe siècle, désigne le plus souvent le programme des activités spécifiques que l'édifice abrite, elle renvoie à son usage, à son utilité sociale, censée s'extérioriser dans la forme donnée au bâtiment selon des degrés variés d'objectivité ou d'évocation symbolique (Thibault, 2012 : 1).

Figure 92 : Le Bauhaus de Walter Gropius.



Figure 93 : Bibliothèque d'Alvar Aalto à l'université de Jyväskylä en Finlande.



Source : <https://fr.scribd.com/document/434930998/Week-13-lecture-notes-07-jan-2014-pdf>

Plus précisément, la fonction est une catégorie générale d'activités (« se réunir », « se reposer », « se laver », etc.), chacune d'entre elles étant décomposable en sous-fonctions (par exemple, la fonction principale « se reposer », peut se décomposer en « méditer », « s'isoler », « lire », « dormir » et la fonction principale « se réunir », en « discuter », « danser », « recevoir », etc.) (Lebahar, 2006 : 17).

« L'ordre fonctionnel donne la primauté à la fonction. C'est cette dernière qui coordonne le tout et génère la configuration finale du plan » (Mazouz, 2004 : 82). Lebahar a montré que la démarche de l'architecte durant les premières phases du projet est une démarche de réduction d'incertitude (Idem : 80) où le passage initial des étapes de préconception à l'élaboration plus

créative d'un plan est l'élément le plus difficile et le plus critique du processus de planification de l'espace. C'est pour cette raison que « l'architecte ne se sert au début de son processus de recherche d'une forme architecturale que d'un concept assez flou qu'il appelle esquisse. Dans la plupart des cas c'est un zoning sommaire véhiculant des semblants d'espaces et surtout des facteurs déterminants dans le planning spatial tels que des axes de circulation, des axes visuels ou fictifs qui représente la première étude du concepteur devant sa table à dessin » (Ibid.).

3. La programmation architecturale

Jusqu'à présent, les efforts pour résoudre le problème de conception de l'espace ont été menés à travers des méthodes de collecte de données, d'analyse des besoins des utilisateurs et des premières tentatives pour établir un concept ou une approche générale du projet. Plus précisément, le passage du mode analytique de la programmation au mode créatif de la planification passe essentiellement par une analyse de programme, d'élaboration des schémas à bulles (diagrammes, organigrammes), l'étude des connexions, la forme et les orientations de formes physiques (Do et Gross, 2001 : 2).

En général, la programmation architecturale implique des groupes d'utilisateurs finaux (les personnes qui utiliseront le bâtiment) de se réunir pour discuter de la manière dont ils prévoient d'utiliser le bâtiment et de ce qu'ils ont besoin de l'espace pour le rendre le plus efficace possible. La programmation architecturale constitue une partie cruciale d'un ensemble plus vaste et complexe d'étapes nécessaires à la réalisation de l'édification du bâtiment. « Elle est considérée par plusieurs auteurs et praticiens œuvrant dans le domaine de la construction comme un élément essentiel de ce processus de réalisation » (Côté, Goulette, Marques, 2009 : 77). La programmation architecturale se situe au tout début du processus, et dans bien des cas en tant que première étape, elle a comme objectif essentiel de prévoir en amont de la conception du projet les éléments essentiels et constitutifs d'une bonne architecture (Ibid.).

4. Le programme architectural

À l'origine de tout projet se trouve l'expression d'un besoin nécessitant une analyse d'exigences au départ. Le produit final de l'analyse étant un programme décomposant un ensemble d'exigences en sous-ensembles successivement plus restreints (De Beauvais, 1995).

« L'idée de programme comme document donnant des prescriptions relatives à un ouvrage à réaliser trouve sa concrétisation dès l'Antiquité, dans les civilisations gréco-romaines. Il s'apparente alors à un devis descriptif permettant au pouvoir politique de s'assurer, lors de la conception d'édifices publics, du respect par les architectes ou les maçons de l'utilisation de certaines règles constructives et des coûts d'exécution prévus » (Zetlaoui-Léger, 2009 : 144-145). C'est un instrument de réflexion qui fournit une liste détaillant les espaces qui doivent se trouver dans le bâtiment, les mètres carrés et les descriptions utiles exprimant la destination ou la vocation générale de l'espace à concevoir et implique aussi les contraintes à respecter (Zetlaoui-Léger, 2009 : 145) pour la conception du projet. Selon Larousse, le programme est un « énoncé des caractéristiques précises d'un édifice à concevoir et à réaliser remis aux architectes candidats pour servir de base à leur étude et à l'établissement de leur projet » (De beauvais, 1995) dans lequel « les valeurs, objectifs, faits, et les besoins sont présentés » (Hershberger, 1999 : 5).

Il détermine :

- Des **exigences quantitatives de tous ordres**, d'abord activités, surfaces, hauteurs, mais aussi rapport de proximité ou d'éloignement, éclairage, chauffage, ventilation, climatisation, acoustique, etc. ;
- Des **éléments qualitatifs**, qui doivent permettre à l'auteur du projet de se faire une idée des souhaits subjectifs du « client » ;
- mais il est aussi porteur d'**éléments symboliques**, au-delà des sensations perceptibles.

5. Comment analyser un programme ?

Avant d'aborder la conception, et disposant du programme, l'architecte devra en étudier tous les détails en :

- Analysant les fonctions qui se déroulent dans les espaces proposés où « chaque composante est une entité qu'il faut définir isolement et l'analyser » (Hammou, 2009 : 94).

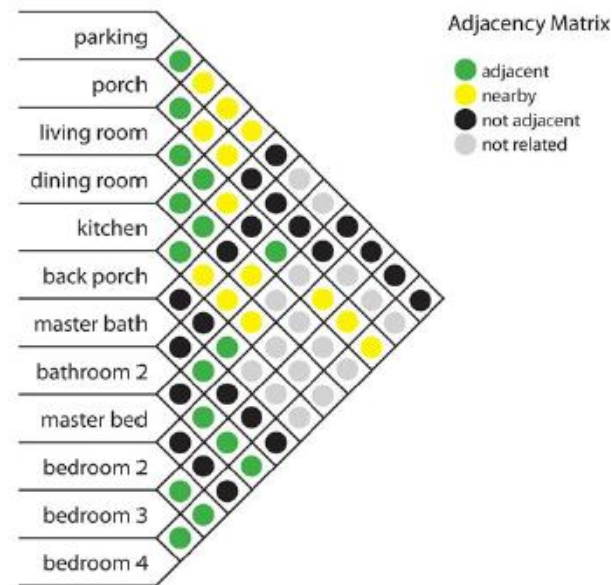
- En faisant la définition de la fonction (ex cuisine) et la définition des différentes activités de la fonction et leurs études (fonction, aménagement, encombrement, périodicité d'utilisation, nombres d'usagers et d'utilisateurs) suivie d'une matrice, en vérifiant les caractéristiques techniques ou performances attendues pour un espace fonctionnel (taux d'isolation, surfaces, etc) et en élaborant un organigramme « comme première hypothèse d'une lecture relationnelle » (Ibid.).

5.1. La matrice

L'architecte a pour tâche de faire ressortir les grandes entités fonctionnelles (regroupement des différentes activités par affinité ou par complémentarité), puis l'architecte devra qualifier les relations qui existent entre les différentes fonctions selon leur importance par une matrice. La matrice de contiguïté est un examen approfondi de la façon dont chaque espace est relié aux autres dans le bâtiment permettant d'organiser et de relier différents domaines d'activité. Le concepteur peut, suivant le temps dont il dispose et sa quête et précision, proposer le jeu codé d'appréciation qui lui convient (Mazouz, 2004 : 89).

La matrice aura pour rôle d'évaluer la nature des relations entre les espaces. Ces relations peuvent être nécessaires ou exigées, souhaitées, possibles et faibles ou pas de relations (Figure 94). Cette grille d'interaction peut devenir plus complexe en prenant en compte divers paramètres d'ordre fonctionnel (communication) ou de nature environnementale (relations visuelles, auditives, etc). Les corrélations seront matérialisées par une croix ou une couleur. Les corpus de croix donneront une indication pour le regroupement des fonctions affinés ou complémentaires.

Figure 94 : La matrice d'une maison.

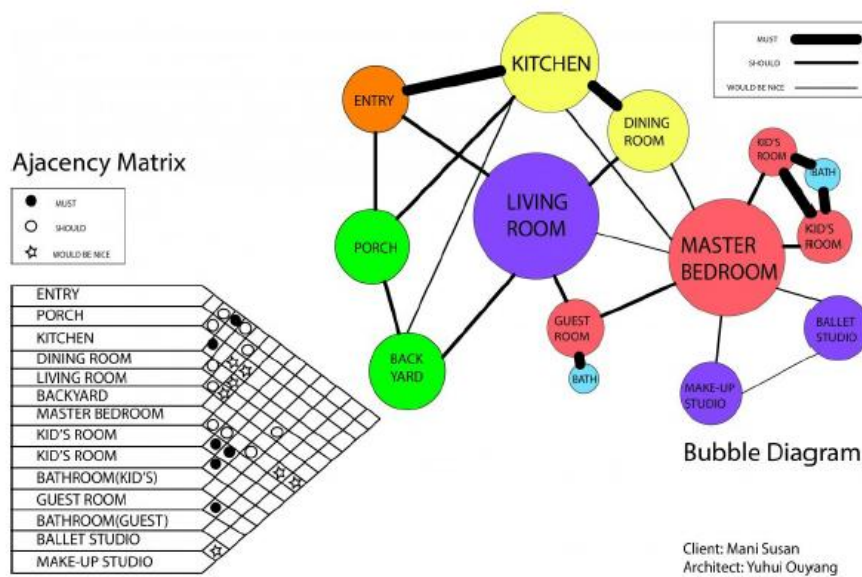


Source : <https://www.pinterest.com/pin/311452130452778720/>

5.2. Le diagramme à bulles

Une fois la phase de programmation terminée, il suffisait de commencer par concevoir, esquisser puis dessiner un plan architectural. Ce dernier ne peut émerger qu'après plusieurs tentatives car la probabilité d'élaborer un bon plan du premier coup est faible. Pour cette raison, Il existe certainement une approche meilleure et plus efficace, pour résoudre le problème d'élaboration des plans par tâtonnements qui prend du temps, qu'est la technique du diagramme à bulles, organigramme ou diagramme. À travers une matrice et les diagrammes à bulles (Figure 95), les relations entre les espaces sont ensuite représentées par des lignes de différentes épaisseurs (Mazouz, 2004 : 87). En définitif, la conception architecturale est considérée comme un processus de transformation et de fusion de diagrammes, en essayant combiner un diagramme structurel, un diagramme fonctionnel et un diagramme de circulation (Rowe, 1987) (Do et Gross, 2001 : 5). Selon Christopher Alexander, la conception est la correspondance des exigences du programme avec le diagramme correspondant (Alexander, 1966). Il appelle diagramme « tout schéma qui, en étant abstraite d'une situation réelle, traduit l'influence physique de certaines exigences ou forces... » (Mazouz, 2004 : 85). En somme, le diagramme est le "point de départ de la synthèse" ; le produit final est "un arbre de diagrammes" (Do et Gross, 2001 : 7).

Figure 95 : Le diagramme à bulles.



Source : <https://nythrosadventures.blogspot.com/2020/08/interior-design-office-bubble-diagram.html>

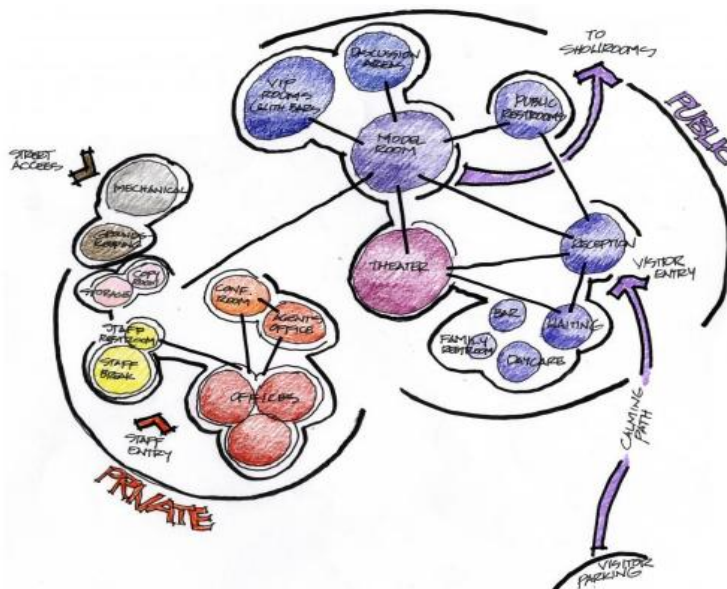
La technique de schéma à bulles est la plus utilisée par les architectes expérimentés. Elle « permet à l'architecte de simuler les activités des usagers du bâtiment qu'il conçoit, de manière à estimer leurs besoins en quantité et en qualité d'espace (isolation, lumière naturelle, moyens de circulations, etc.). À l'issue de ces simulations, l'architecte professionnel émet des exigences fonctionnelles à l'aide desquelles il évalue les contraintes de surfaces fixées par le programme communiqué par son client » (Lebahar, 2006 : 18).

Les diagrammes à Bulles apparaissent dans de nombreux travaux scientifiques dont les manuels et les articles portant sur l'enseignement du design qui ont été enseignés aux écoles d'architecture dont les travaux de Louis Sullivan en 1896 (Emmons, 1998 : 420). En 1938, Le Corbusier a publié dans un article que l'architecture est « une amorce de conception comprenant un diagramme à bulles » (Ibid.). Ce dernier est une représentation d'une programmation sous forme d'un schéma, composé essentiellement de trois éléments : un réseau de lignes décrivant les relations entre les fonctions, des cercles contenant les espaces et les noms des espaces (Ibid.).

Bien que des instruments de la planification fonctionnelle par excellence, les diagrammes à bulles ou organigrammes sont des processus complexes et créatifs exprimés à travers un dessin très simple (à la main) qui consiste à dessiner des formes rondes ou elliptiques

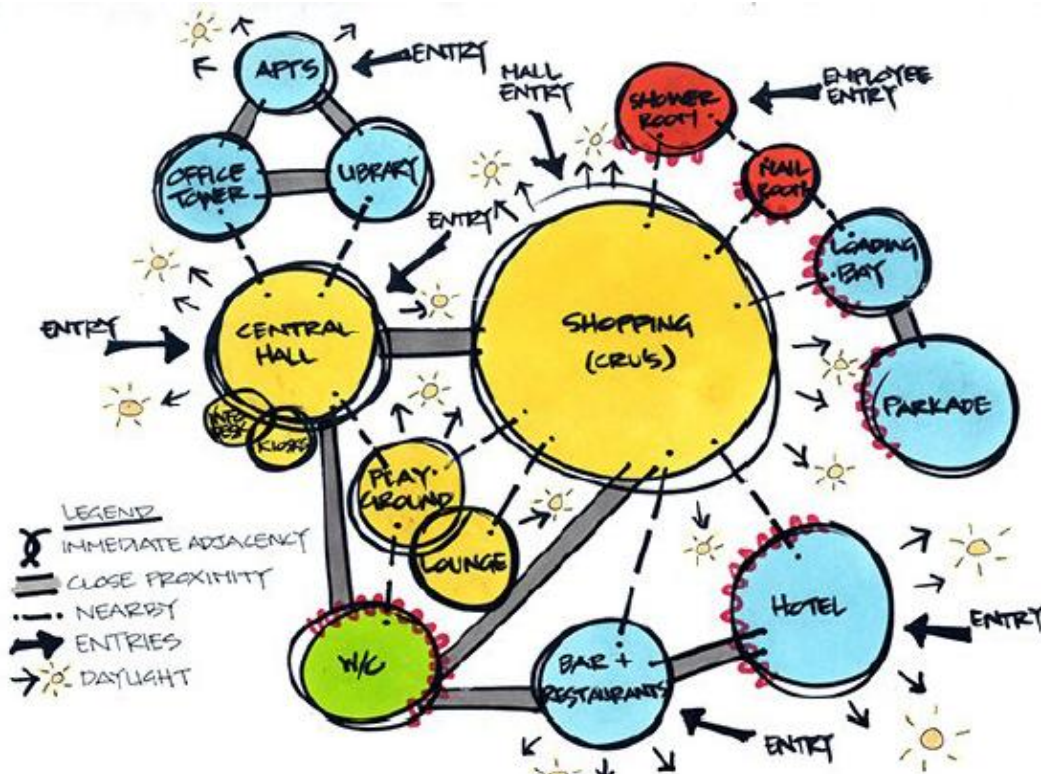
représentant les différents espaces du projet en montrant leur emplacement, leur taille proportionnelle et leur type de relation entre eux par des lignes pleines, des lignes brisées ou ondulées (Figure 96). Les considérations acoustiques, telles que la séparation des fonctions silencieuses et bruyantes et la prise en compte de l'espace de circulation (couloirs, escaliers, allées, etc.) peuvent constituer des facteurs si importants dans l'élaboration de diagrammes à bulles exploitables (Figure 97). Autrement dit, « Commencer par dessiner en premier et au milieu l'espace présentant la valeur la plus importante en termes de relations. Le connecter ensuite avec les espaces en allant du plus relié au moins relié. A ce stade on peut intégrer des informations provenant d'autres matrices d'interaction ou connues par expérience. Les informations peuvent être de diverses formes, d'ordre environnemental telles que les relations auditives et visuelles ou fonctionnelles telles les informations regroupant les espaces ayant les mêmes besoins en termes de services d'équipement » (Mazouz, 2004 : 87).

Figure 96 : La prise en compte de la séparation fonctionnelle et des accès dans l'élaboration du diagramme à bulles.



Source : <https://www.dallasdex.org/wp-content/uploads/2020/03/Bubble-Diagram-Activity.pdf>

Figure 97 : Les données pertinentes du site (ensoleillement), un facteur si important dans l'élaboration de l'organigramme à bulles.



Source : <https://people.ohio.edu/ziff/ART%202650/Lecture%203-Diagrams-Sketches.pdf>

Chaque architecte développe sa méthode personnalisée pour traiter son programme. Il n'existe ni de méthode "correcte" ni de norme professionnelle pour le dessin du produit final d'un schéma à bulles. Le résultat graphique est généralement un système de notation personnel, une impression approximative de l'organisation des espaces. L'aspect imprécis d'un diagramme à main levée sert à rappeler au concepteur que le diagramme n'est pas une conception achevée, et que des affinements et des spécifications supplémentaires doivent être faits pour élaborer le diagramme afin de passer à l'étape de conception et du développement d'un plan plus affiné.

Les organigrammes jouent un rôle important dans la pratique du design. Ils aident à explorer et à enregistrer les idées et les solutions dans les premières phases conceptuelles. Cette technique à main levée présente des avantages pour cette phase initiale de l'aménagement de l'espace. La connexion créative immédiate entre la main et le processus de pensée, sans l'intervention des règles et des processus numériques de l'ordinateur, permet plus facilement

aux processus intuitifs du concepteur de prendre le dessus et de réagir spontanément aux pensées du moment.

De ce point de vue, l'organigramme peut avoir deux fonctions instrumentales. D'un côté, c'est un instrument technique permettant de résoudre le problème posé par la réalisation d'un plan de bâtiment et d'un autre côté, c'est un instrument psychologique permettant aux architectes professionnels et aux étudiants d'organiser leur activité par rapport à une tâche de conception (Lebahar, 2006 : 18). « Cette organisation de l'activité consiste notamment à la planifier, à sélectionner les données pertinentes de la situation, à réaliser des représentations matérialisées permettant d'objectiver sous forme graphique des hypothèses de conception » (Ibid.) et facilitant la structuration, l'organisation de la pensée de l'architecte autour des facteurs qui composent le programme. Il contient : un programme, un site (données extérieures), des fonctions, des surfaces et des relations fonctionnelles.

5.2.1. Méthodologie d'élaboration d'un organigramme à bulles

Un organigramme n'est pas abouti dès la 1ère analyse. Il entre dans un travail didactique pouvant évoluer le long du processus d'élaboration du projet au fur et à mesure que l'ensemble des données seront acquises (Idem : ...)

- **Etape 1 : Lister les fonctions du programme**

Enumérer les fonctions de toutes les pièces du programme, ces fonctions « peuvent être créées par des entités, des catégories de fonctions générales et également par des sous-fonctions. Par exemple une chambre peut être une fonction, le dressing sera la sous-fonction de la chambre. La chambre elle-même peut être définie comme sous-fonction si elle dépend d'une catégorie plus large que pourrait être la zone de nuit, ou la zone de repos » (DE SMET et al, 2020 : 4).

- **Etape 2 : Les facteurs du site (données extérieures)**

Le site, ou comme cité ci-avant les « données extérieures », définit des facteurs qui vont influencer les relations fonctionnelles du programme. Ces facteurs ne sont pas forcément des éléments mesurables ou physiques, mais peuvent être intégrés à l'organigramme (Ibid.). En guise d'exemple, « l'orientation sud du site, ou la position des voies de circulations, l'ensoleillement, la réglementation urbanistique, etc sont des données amenant à structurer l'organigramme et à définir des objectifs d'organisations spatiales pouvant donc être

différents des 1er objectifs du programme » (Ibid.). Ainsi, « un terrain très petit peut engendrer l'idée que les fonctions techniques seront regroupées afin de libérer l'espace des lieux de vie. Ici le facteur terrain peut intervenir en amont dans le processus de recherche relationnelle » (Ibid.).

- ***Etape 3 : Accorder des surfaces aux fonctions de l'organigramme***

Dessiner des bulles avec des tailles différentes correspondant aux grandes, moyennes et petites pièces.

- ***Etape 4 : dessiner les fonctions***

Il s'agit ici d'accorder une valeur visuelle mesurable permettant d'appréhender les proportions du programme (De Smet et al, 2020 : 5). « Les fonctions sont donc établies, par exemple, sous forme de rectangles à une échelle pressenties en cohérence avec le projet (1/100è, 1/200è, 1/500è...) » (Ibid.). L'objectif est « de créer les relations fonctionnelles et d'obtenir un aperçu rapide des proportions existantes » (Ibid.) des espaces. En utilisant des superpositions, les bulles seront réorganisées jusqu'à l'obtention d'une meilleure disposition possible qui satisfait aux paramètres de conception avec la prise en considération de la circulation entre les espaces (les pièces qui pourraient être juxtaposées ou proches les unes des autres, les pièces qui nécessitent avoir des fenêtres doivent être au bord du diagramme et non au milieu) (Figure 98). Enfin, un découpage des fonctions sous forme de cartons aux dimensions correspondantes, dans le processus de création, peut ensuite aboutir à des maquettes de cubes permettant d'intégrer la 3è dimension et de faciliter le travail des étudiants (Ibid.).

- ***Etape 4: Colorier les fonctions***

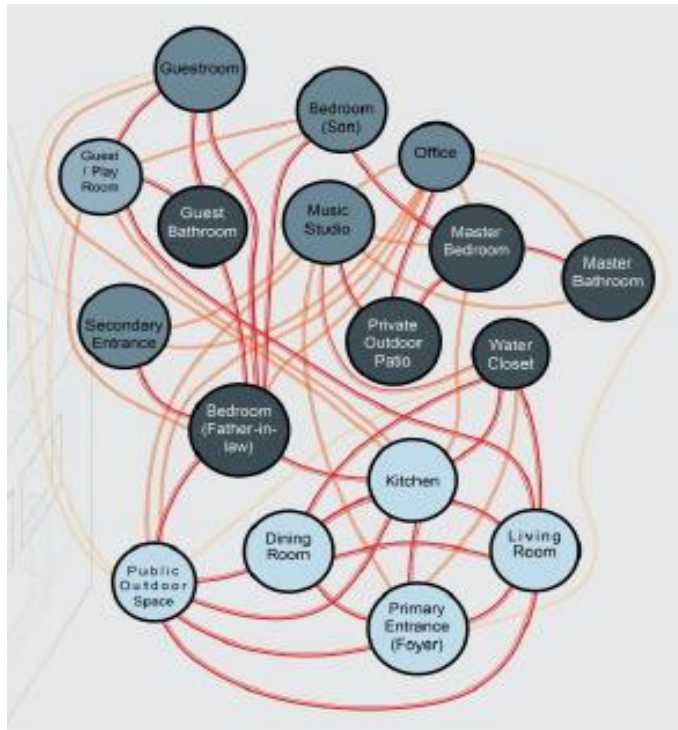
« Cette étape n'est pas obligatoire mais elle permet de nouveau à structurer le regard et d'appréhender les logiques fonctionnelles et les catégories de fonctions (repos, travail,...) » (Ibid.).

- ***Etape 5 : Etablir les relations fonctionnelles***

Ces relations sont établies soit par l'analyse les données du programme soit par l'analyse des données du site (Figure 99). Un Organigramme horizontal et vertical « est effectué par

2004 : 87). Les distorsions sont conduites selon une itération jusqu'à ce qu'une solution satisfaisante soit trouvée (Idem : 91).

Figure 100 : l'enchevêtrement des relations de l'organigramme à bulles rend la lecture illisible.

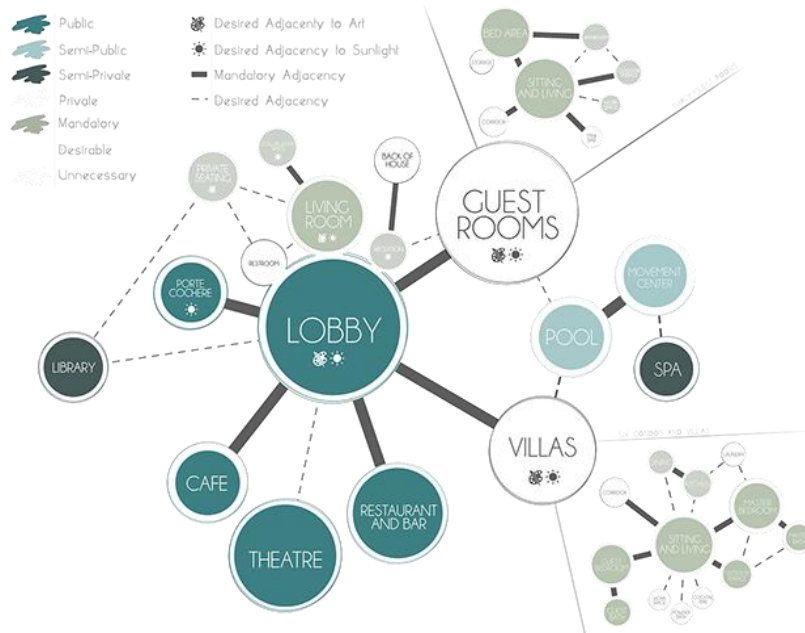


Source : <https://people.ohio.edu/ziff/ART%202650/Lecture%203-Diagrams-Sketches.pdf>

- **Etape 6 : Hiérarchie et codes des fonctions et des liaisons**

L'organigramme peut être organisé suivant des flèches double ou simple (selon l'importance à accorder aux liaisons), des codes peuvent être utilisés pour définir les relations vers l'extérieur (lignes ondulées) (De Smet et al, 2020 : 6). Continuer à ajouter à l'organigramme à bulles des lignes/flèches pour la nature de relation entre les espaces (forte, faible et moyenne) (Figure 101), des lignes pour la circulation (les chemins où les gens marcheront dans un bâtiment) et des flèches plus petites (là où se trouveront les entrées/portes).

Figure 101 : Un diagramme à bulles avec une hiérarchisation dans la nature des relations.



Source : https://www.pngkey.com/download/u2q8e6t4y3r5y3a9_bubble-diagram-architecture-architecture-layout-architecture-bubble-diagram/

La réorganisation de l'organigramme fonctionnel facilite le passage à l'organigramme spatial (Figure 102). « Ce dernier est obtenu en substituant aux bulles (fonctions) des configurations des espaces à projeter à l'échelle. Le regroupement des secteurs d'activités permet à l'organigramme de gagner en lisibilité et permettra à l'architecte de dégager d'ores et déjà un concept de forme du point de vue fonctionnel » (Mazouz, 2014 : 92).

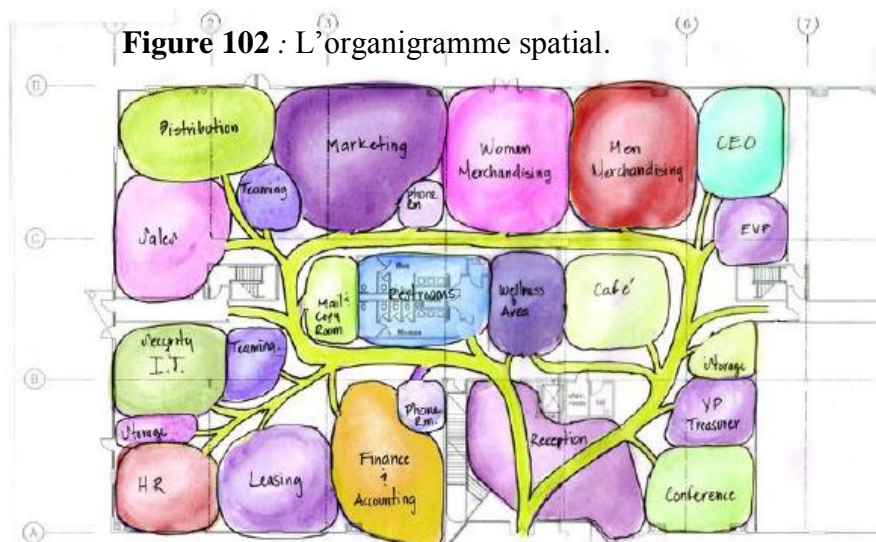


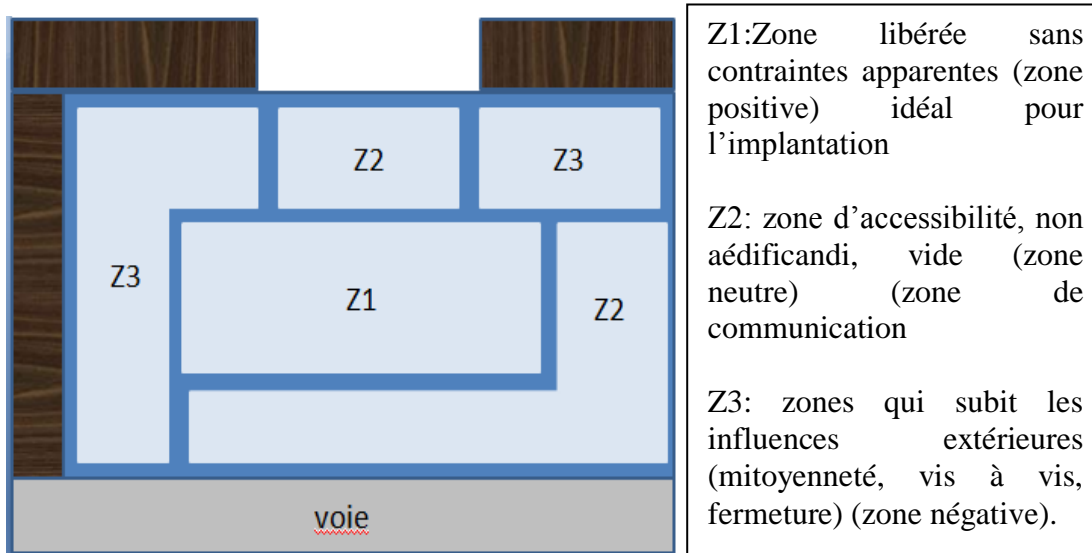
Figure 102 : L'organigramme spatial.

Source : <https://nythrosadventures.blogspot.com/2020/08/interior-design-office-bubble-diagram.html>

6. Le zoning

Une forme d'expression virtuelle à des fins de conception, véhiculant le sens de l'idée de l'œuvre. Entre un dossier d'avant projet et cette représentation, la lecture, les outils, la démarche, sont d'essence et de style très différents. Cette phase nous offre une lecture imprécise et laisse entrevoir des interprétations multiples (Figure 103). Comme c'est un stade conscient de la composition, le rôle que joue: le mouvement, la perception et les proportions est essentiel. Cette composition s'organise d'une manière courante du général vers le particulier (du macro au micro). Le site aide à émerger la particularité de l'idée du projet, grâce aux différentes zones qu'il présente (Hammou, 2009 : 113-114).

Figure 103 : Un zoning.



Source : Hammou, 2009 : 116

Conclusion

L'utilité de la méthode fonctionnaliste réside dans le fait de faciliter le travail d'agencement spatial qui peut servir l'architecte durant les premières phases de l'esquisse. Cette méthode simple et efficace consiste à orienter le regard vers la lecture et l'analyse du programme avant de commencer le processus de planification. Pour cela, avant la traduction en plans des

matrices, des diagrammes à bulles, des organigrammes spatiaux et zoning contribueront à (Mazouz, 2004 : 85) faciliter la réflexion et le dialogue du concepteur, à représenter et à tester l'intention d'un architecte et à véhiculer des résolutions aux problèmes (Do et Gross, 2001 : 5).

Chapitre 4 : Introduction à la mise en forme du projet

Plan du chapitre

Introduction

1. Système de proportion
2. Le nombre d'or
 - 2.1. Les propriétés algébriques et géométriques du nombre d'or
3. Le nombre d'or en architecture
 - 3.1. L'architecture égyptienne
 - 3.2. L'architecture grecque
 - 3.3. L'architecture gothique
 - 3.4. L'architecture de la renaissance
 - 3.5. L'architecture japonaise : Le Ken
 - 3.6. L'architecture moderne : Le modulator
4. Le modulator : genèse d'une notion architecturale par le Corbusier
5. La grille basique du modulator
6. La coordination dimensionnelle et ses implications dans le projet
7. La notion d'échelle en architecture
 - 7.1. L'échelle visuelle
 - 7.2. L'échelle humaine
8. L'anthropométrie
9. L'ergonomie
 - 9.1. L'ergonomie, essai de définition
 - 9.2. Ergonomie et architecture

10. Notions élémentaires de programmation

10.1. Diagnostic

10.1.1 Analyse de l'existant

10.1.2 Définition des besoins et programmation

10.2. Conception ergonomique

10.2.1 Scénarios d'usage et simulation

10.2.2 Conception ergonomique de l'aménagement

10.3. Conception architecturale

Conclusion

Chapitre 4

Introduction à la mise en forme du projet

Introduction

Depuis longtemps, l'homme a toujours octroyé beaucoup d'importance à la forme et à ses proportions, nul ne peut se soustraire à l'attrait envoûtant d'une belle forme nantie de jolies proportions. C'est pour cette raison qu'il a cherché à réunir la géométrie euclidienne et les formes de la nature en un système unique et universel (Von Meiss, 2012 : 75). Par ailleurs, Il a considéré que le corps humain est l'élément équilibré de référence de la représentation subjective de l'ordre de l'univers. « C'est à lui que nous comparons le petit et le grand, le géométrique et l'amorphe, le dur et le tendre, l'étroit et le large, le fort et le faible » (Idem : 71). C'est pour cette raison, l'homme a toujours cherché dans le corps humain des formes, des mesures et des rapports de mesure universels qui puissent être classés en principes numériques ou géométriques (Idem : 75).

1. Système de proportion

À la base, la proportion est un concept mathématique issu de la Grèce antique. Vitruve, un architecte ayant vécu au 1^{er} siècle avant J-C, considéré comme le premier théoricien de l'architecture, la décrivait dans ses "*dix livres d'architecture*", comme « la proportion est le rapport que toute l'œuvre a avec ses parties, et celui qu'elles ont séparément, comparativement au tout, suivant la mesure d'une certaine partie [...] L'ordonnance d'un édifice consiste dans la proportion qui doit être soigneusement observée par les architectes » (Guillerme et Boudon).

Ces pensées influenceront de nombreux architectes et artistes renommés dont Léonard de Vinci (1452-1519), Leon Battista Alberti (1404-1472) ou encore Michel-Ange (1475-1564). La proportion dépend du rapport, que les Grecs appellent analogie où un bâtiment ne pourra être bien ordonné, s'il n'a cette proportion et ce rapport et si toutes les parties ne sont, les unes par rapport aux autres, comme le sont celles du corps d'un homme bien formé.» (Guillerme et Boudon). Aujourd'hui, la proportion est définie selon le dictionnaire Larousse comme un rapport relatif de grandeur entre une quantité et une autre prise comme référence. Autrement dit, la proportion elle est « la convenance et la relation des parties d'un tout, comparées entre elles et comparées à ce tout » Selon George Gromort, S'appuyant sur ce même rapport de la partie et du tout, la proportion doit régler de la façon la plus harmonieuse possible. En architecture par exemple, la proportion exprime « les rapports de grandeur entre les parties d'un bâtiment, comme par exemple sa largeur et sa hauteur. Ce rapport peut alors être plus ou moins satisfaisant pour l'observateur » (Cegielska, 2019 : 16). Dans ce sillage, Etienne- Louis Boullée confirmait que "*la proportion, quoiqu'étant une des premières beautés en architecture, n'est pas la loi première d'où émanent les principes constitutifs de l'art...Les principes constitutifs de l'architecture naissent de la régularité*".

Parler de proportions, c'est parler de la « juste mesure » des objets fabriqués par l'homme assurant selon R. Wittkower, une «cohérence métrique» : « Brunelleschi entendait démontrer que la diminution des objets dans l'espace se ramenait à une loi de rapports

continus – en sorte qu'un édifice, appréhendé sous n'importe quel angle de point de vue, ne perdît sa cohérence métrique » (Boudon, 1999 : 10).

Les systèmes mathématiques de proportion prennent appuie sur le concept pythagoricien du « tout est nombre » et sur la conviction que certaines relations numériques témoignent de la structure harmonieuse de l'univers. L'une de ces relations employées depuis l'antiquité est la célèbre proportion nommée le nombre d'or (Ching, 2019 : 314). « La véritable raison de la fascination qu'exerce la section d'or ne réside pas simplement dans sa qualité esthétique, mais aussi dans sa propriété mathématique d'être successivement subdivisible jusqu'à l'infini dans les deux sens » (Von Naredi-Rainer, 1982 : 193). Si les Grecs reconnaissaient l'importance du nombre d'or dans les proportions du corps humain et les reproduisaient dans les structures de leurs temples, les architectes de la Renaissance l'explorèrent également dans leur travail. Plus récemment, Le Corbusier conçut le système du modulator à partir du nombre d'or. Il continue d'être employé encore de nos jours (Ching, 2019 : 314). Parmi ces règles nous citons la spirale de Fibonacci, l'homme vitruvien de Vitruve et celui de Léonard de Vinci, la lettre grecque « phi », et le Modulator de Le Corbusier entre autres.

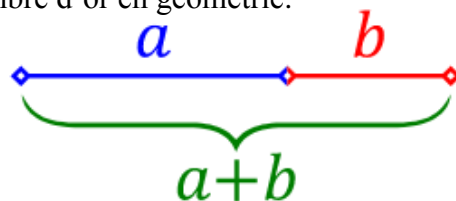
2. Le nombre d'or

Le nombre d'or a attiré l'attention des gens depuis plus de 2400 ans (Mario Livio) dont nombreux mathématiciens, artistes et philosophes. Le développement de l'idée du nombre d'or est généralement attribué à Pythagore (580-497BM). Le symbole de l'école de Pythagore était le pentagramme régulier. Platon (428 av. J.-C. - 347 av. J.-C.) voyait le monde en termes de proportions géométriques parfaites et symétriques. Euclide (323 av. J.-C. - 265 av. J.-C.) a été le premier à donner une définition du nombre d'or comme « la ligne de démarcation dans le rapport extrême et moyen » dans son livre intitulé "*Elément*". Aussi, l'une des premières traces de son utilisation remonte à Phidias (500 av. J.-C. - 432BC), un mathématicien et le plus grand sculpteur de son temps. Il a étudié et appliqué le nombre d'or à la conception des sculptures de la statue de la déesse Athéna au Parthénon, sur l'Acropole d'Athènes, au Ve siècle avant notre ère. Vers 1500, Luca Pacioli (1445-1517) a publié son livre "*Divine Proportion*", qui contient des dessins

réalisés par Léonard De Vinci des cinq solides de Platon et d'autres imaginations d'artistes, d'architectes et de scientifiques du nombre d'or (Stipancic-Klaic et Matotek, 2010 : 1). C'est probablement Léonard de Vinci qui a été le premier à l'appeler la "Section dorée". Ainsi, Fibonacci (1170-1250) a découvert une séquence connue aujourd'hui sous le nom de séquence de Fibonacci qui s'est trouvé à approcher le ratio de façon asymptotique. La séquence de Fibonacci est une série de nombres dans laquelle chaque nombre (nombre de Fibonacci) est la somme des deux nombres précédents.

Le nombre d'or fait son apparition dans la pensée grecque avec Pythagore avec un rapport de $1/\sqrt{2}$ (Ching, 2012 : 77), au tournant du VI^e et du V^e siècle avant notre ère. Mais Euclide est le premier à en développer la théorie la plus harmonieuse de couper un segment en deux parties inégales. « D'un point de vue géométrique, la section dorée est celle qui coupe un segment en deux parties inégales, dont la plus grande est dans le même rapport au tout que la plus petite à la plus grande. Euclide nomme ce découpage « proportion de moyenne et d'extrême raison » (Ellipses : 09). Elle peut s'exprimer algébriquement par l'équation de deux ratios : $a/b=b/a+b$ (Figure 104).

Figure 104 : Le nombre d'or en géométrie.



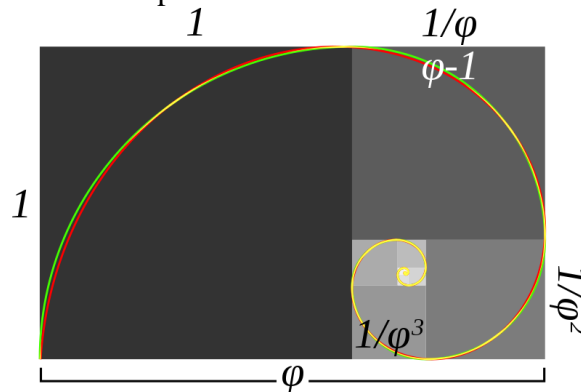
$$a+b / a = a / b = 1,618... = \phi$$

Source : <https://fr.scribd.com/doc/137290038/Nombre-d-or-pdf>

Le nombre d'or est souvent représenté visuellement comme le Rectangle d'Or. « Un rectangle dont les cotés sont proportionnés selon le nombre d'or est nommé rectangle d'or. Si un carré est construit sur son petit côté, la portion restante du rectangle original sera aussi un rectangle, plus petit. Cette opération peut être répétée indéfiniment afin de créer une échelle de carrés et de rectangles d'or. Lors de cette transformation, chaque partie reste

identique aux autres parties, mais aussi à l'ensemble. Les diagrammes de cette page illustrent ce modèle de croissance additif et géométrique de progressions fondées sur le nombre d'or » (Ching, 2019 : 315). La spirale verte est faite de quarts de cercle tangents à l'intérieur de chaque carré, tandis que la spirale rouge est une spirale dorée, un type de spirale logarithmique (Figure 105).

Figure 105 : la spirale de Fibonacci.



Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Spirale_d%27or

Ce nombre se dissimulerait-il dans l'œuvre des plus grands artistes, de Phidias à Salvador Dali et de Léonard de Vinci au Corbusier. Il est égal à $(1+\sqrt{5})/2$, soit environ 1,618033 98875 et désigné par la lettre grecque Φ , en hommage au sculpteur grec Phidias, qui l'aurait utilisé pour concevoir (ellipses, 10).

2.1. Les propriétés algébriques et géométriques du nombre d'or

Le nombre d'or possède certaines propriétés algébriques et géométriques remarquables expliquant son existence en architecture et dans les structures de nombreux organismes vivants.

- **Carré du nombre d'or**

Pour calculer le carré du nombre d'or, il suffit de lui ajouter 1 : $\Phi^2 = \Phi + 1$

- **Inverse du nombre d'or**

Pour calculer l'inverse du nombre d'or, il suffit de lui soustraire 1 : $1/\Phi = \Phi - 1$

- **Puissances du nombre d'or**

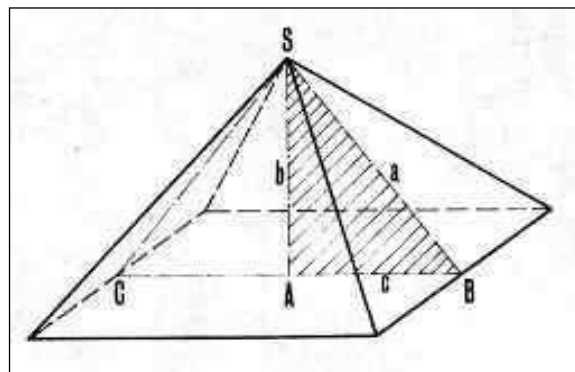
Pour obtenir une puissance du nombre d'or, il suffit de connaître les deux puissances précédentes et de les additionner, ce qui est exactement le procédé de construction de la suite de Fibonacci : $\Phi^2 = \varphi + 1$, $\varphi^3 = 2\varphi + 1$, $\varphi^4 = 3\varphi + 1$, $\varphi^5 = 5\varphi + 1$

3. Le nombre d'or en architecture

3.1.L'architecture égyptienne

Des Sept Merveilles du monde antique à avoir survécu jusqu'à nos jours, a été édifée en 2 600 avant notre ère, il y a plus de 4 500 ans, sur le plateau de Gizeh, en Égypte. La pyramide de Khéops avait été dessinée et construite de manière que la surface de chacune de ses faces triangulaires soit égale à la surface d'un carré de côté égal à la hauteur verticale de la pyramide (Figure 106). Si l'on introduit l'apothème d'une pyramide, c'est-à-dire la distance reliant le sommet de la pyramide au milieu d'un des côtés du carré qui forme sa base, on peut montrer que le rapport de l'apothème de la pyramide de Khéops (qui vaut 356 coudées) à sa demi-base (qui mesure 220 coudées si l'on enlève les pierres de parement) est à peu près égal au nombre d'or (Ellipses : 11).

Figure 106 : La pyramide de Khéops.



Source : <https://professeurdoizi.wordpress.com/2016/01/20/la-pyramide-de-kheops-et-le-nombre-dor/>

3.2.L'architecture grecque

Le Parthénon a été construit selon les règles de l'harmonie grecque et respecte la proportion dorée : le rectangle qui contient toute la façade est un rectangle d'or (le rapport

de la longueur à la largeur est égal au nombre d'or) (Figure 107), à condition toutefois de tronquer le toit ou de prendre quelques marches du fronton en plus de la façade elle-même (Ellipses : 10).

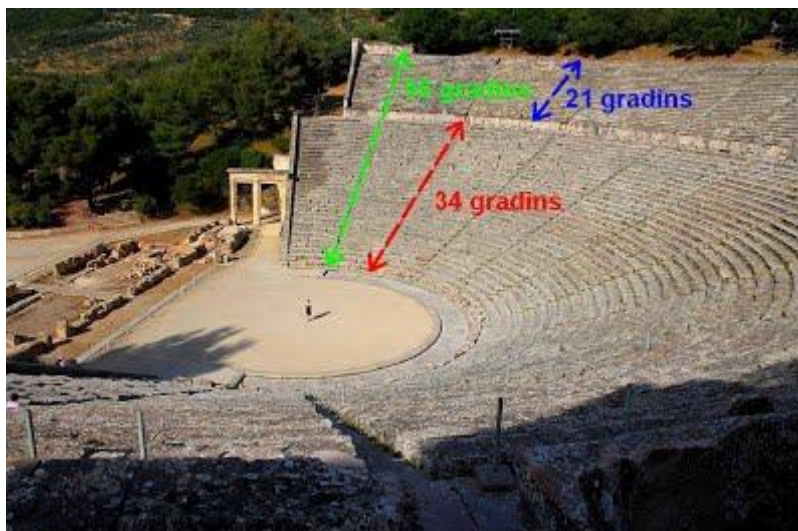
Figure 107 : La façade du Parthénon est constituée de plusieurs rectangles d'or.



Source : https://www.editions-ellipses.fr/PDF/9782340011731_extrait.pdf

Toujours en Grèce, le théâtre d'Épidaure (Figure 65), renommé pour ses qualités acoustiques, possède une rangée de 34 gradins et une rangée de 21 gradins. Le rapport entre ces deux nombres vaut 1,619...

Figure 108 : Le théâtre d'Epidaure.



Source : <https://sites.google.com/site/tpenombredorvigo/iii/2-monuments-celebres>

Les ordres représentaient pour les Grecs et les Romains de l'antiquité, « la manière dont ils déterminaient les proportions des éléments, l'expression parfaite de la beauté et de l'harmonie » (Ching, 2019 : 320).

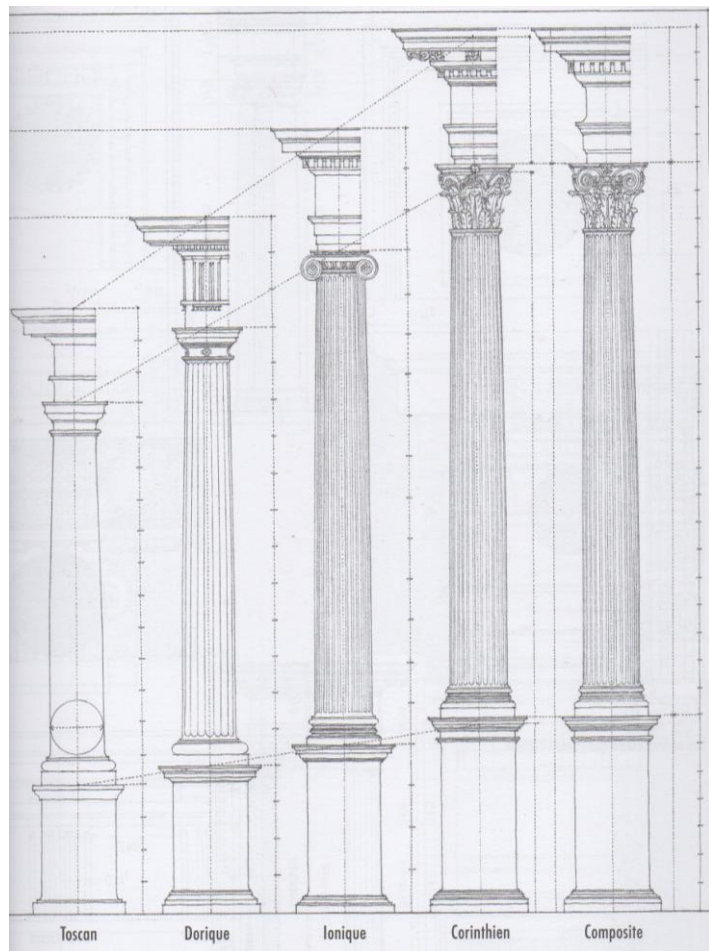
Le dimensionnement des ordres antiques part de l'élément unitaire de base, le diamètre de la colonne (Figure 109). Ce diamètre de la colonne sert d'unité de mesure pour définir la hauteur de la colonne, mais aussi les dimensions du fût, du chapiteau, du piédestal et de l'entablement, jusqu'au moindre détail.

L'entrecolonnement

(l'espace entre les colonnes). « Comme les tailles de colonnes variaient selon la grandeur du bâtiment, les ordres ne se basaient pas sur une unité de mesure fixe. L'intention était plutôt de s'assurer que toutes les parties d'un bâtiment seraient bien proportionnées, en harmonie avec les autres » (Ibid.).

Les architectes de la renaissance reprendront les mêmes systèmes de mesure pour fixer les proportions des colonnades ; des portiques et des arcades dont ils figurent grand usage. C'est ainsi qu'ont été étudiés, soigneusement dimensionnés les admirables motifs de Brunelleschi ou de Palladio.

Figure 109: Les cinq ordres classiques.

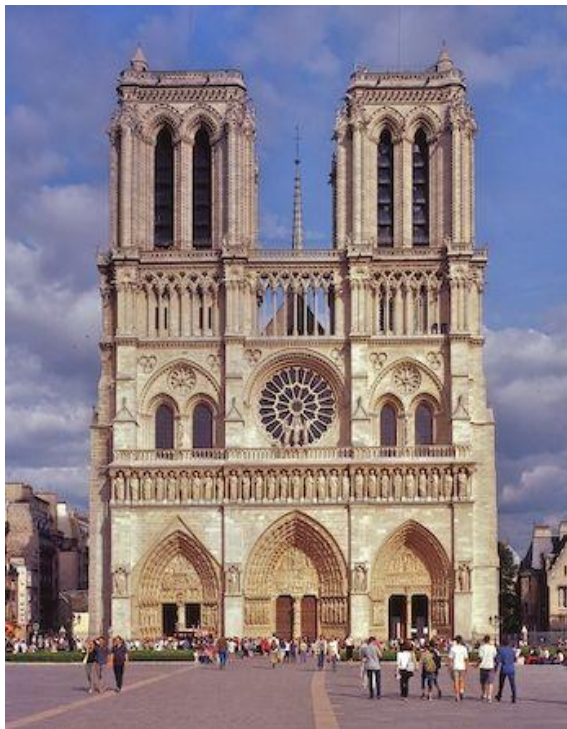


Source : Ching, 2019 : 321

3.3.L'architecture gothique

L'un des monuments les plus populaires de cette période est la cathédrale Notre-dame de Paris (construite 1163-1346) (Figure 110). F. Macody Lung dans son livre "Ad Quadratum" (1919) affirme que cette église, la cathédrale de Chartres (Début XII^e siècle), la Notre-Dame de Laon (XII^e-XIII^e siècle) (Figure 111) ont été conçues selon le nombre d'or.

Figure 110 : Notre Dame de Paris.



Source : <https://www.pinterest.it/pin/583075482976230782/>

Figure 111 : Notre Dame de Laon.



Source : <http://bildsache.com/project/laon-cathedrale-notre-dame.html>

3.4.L'architecture de la renaissance

S'inspirant du système de proportion mathématique grec basé sur le système musical reflétant une géométrie traduite en sons, les architectes de la Renaissance considèrent que l'architecture n'était que des mathématiques traduites en unités spatiales et cherchèrent à introduire un ordre souverain à leurs bâtiments (Ching, 2019 : 326). « En appliquant les théories des médités de Pythagore aux ratios des intervalles de l'échelle musicale grecque. Ils développèrent une progression interrompue de ratios qui formèrent les bases des

proportions de leur architecture. Ces séries de ratios manifestèrent non seulement dans les dimensions d'une pièce ou d'une façade, mais aussi dans les proportions imbriquées d'une séquence d'espaces ou d'un plan entier » (Ibid.).

Andrea Palladio (1508-1580) fut probablement l'architecte le plus influent de la renaissance Italienne. Dans "les quatre livres de l'architecture", il proposa « sept pièces les plus belles et élégamment proportionnées » suivant les traces de ses prédécesseurs, Alberti et Serlio (Ching, 2019 : 327).

Palladio proposa également plusieurs méthodes afin de déterminer la hauteur bien proportionnée d'une pièce par rapport à sa largeur et sa longueur. La hauteur d'une pièce carrée aux plafonds voûtés devra être 1/3 plus haute que sa largeur. Pour les autres pièces, Palladio employa les théories des médités de Pythagore (arithmétique, géométrique et harmonique) afin de déterminer leur hauteur (Figure 112, 113, 114).

Arithmétique : $c-b/b-a=c/c$ (par exemple la suite 1, 2, 3...ou 6, 9, 12).

Géométrique : $c-b/b-a=c/b$

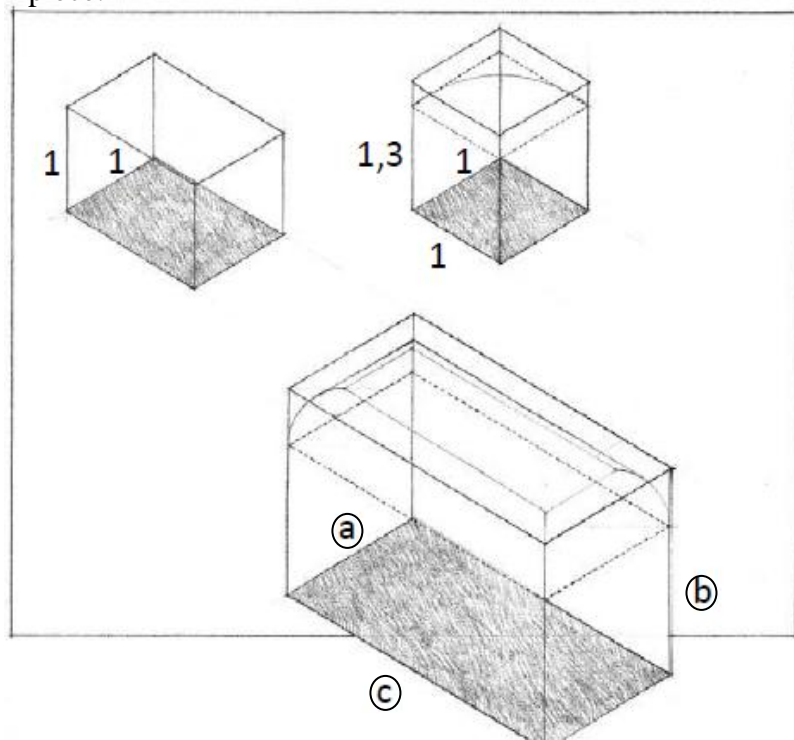
(par exemple la suite 1, 2, 4...ou 4, 6, 9)

Harmonique : $c-b/b-a=c/a$

(par exemple la suite 2, 3, 6...ou 6,8, 12)

Dans chaque cas, la hauteur d'une pièce (b) est à peu près égale à la moyenne entre les deux extrêmes de largeur (a) et de longueur (c) de la pièce (Ibid.).

Figure 112 : Méthode de calcul d'une hauteur d'une pièce.



Source : Ching, 2019 : 328

Figure 113: Plan et coupe-élévation de la villa Palladio.

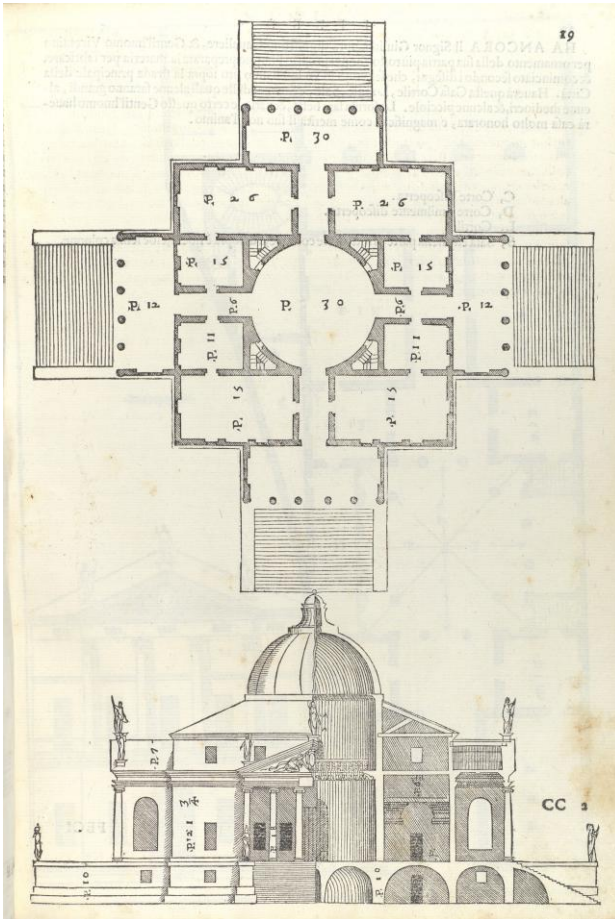


Figure 114 : Vue extérieure de la villa Palladio. Page | 80



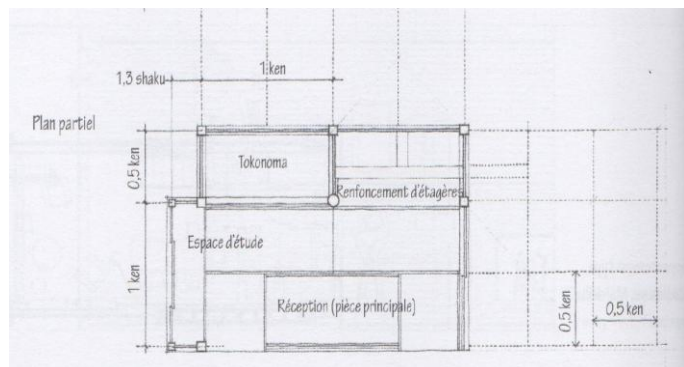
Source : <http://venisecotejardin.blogspot.com/2012/04/la-rotonda.html>

Source : Palladio, 1570 :19

3.5.L'architecture japonaise : le Ken

Le Ken, une unité de mesure japonaise qui a été introduit dans la deuxième moitié du moyen âge nippon. Bien qu'il fut à l'origine employé uniquement pour désigner l'intervalle entre deux colonnes et variant donc en taille (Figure 115), le ken devient une mesure absolue qui a été standardisé pour l'architecture résidentielle en tant

Figure 115 : L'utilisation du Ken dans la maison traditionnelle japonaise.



Source : Ching, 2019 : 334

que module esthétique organisant la structure, les matériaux et l'espace architectural japonais (Ching, 2019 : 334).

3.6.L'architecture moderne : le modulator

Le Corbusier voulait améliorer la fonction de l'architecture en utilisant son modulator qui prend appui sur les proportions du corps humain et le nombre d'or. De ce fait, l'utilisation du Modulator et de ses mesures peut être constatée au sein de l'Unité d'habitation de Marseille (Figure 116). Le bâtiment qui a été inauguré en octobre 1952 « exploite quinze mesures du modulator pour ramener à l'échelle humaine un bâtiment de 140 mètres de long, 24 mètres de large et 70 mètres de haut » (Idem : 332).

Figure 116 : L'unité d'habitation de Marseille.



Source : <https://www.lemoniteur.fr/article/les-habitants-de-la-cite-radiieuse-incendiee-prennent-la-parole.1213764>

Un autre architecte suisse, Mario Botta (1943), est célèbre pour l'utilisation de la section d'or dans son travail. Par exemple dans la maison Origlio (Figure 117), le rapport d'or est la proportion entre section centrale et les sections latérales de la maison.

Figure 117 : La maison Origlio.

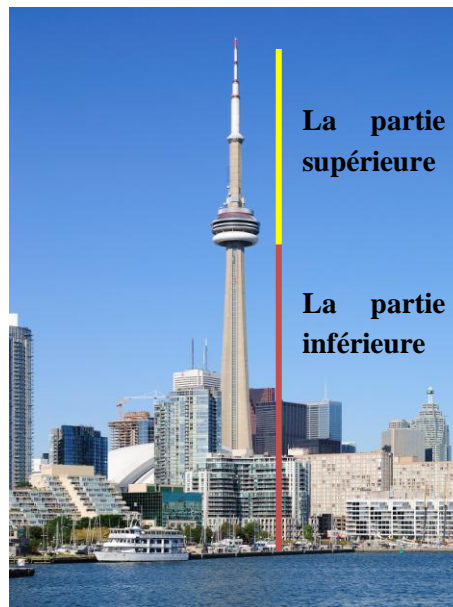


Source :

<http://www.botta.ch/en/SPAZI%20DELL-ABITARE?idx=13>

La tour du CN à Toronto (1974), la hauteur de partie inférieure est de 553,33 m, tandis que la hauteur de la partie supérieure est de 342 m (figure 118). Le rapport entre ces deux valeurs est 1,617924, donc le rapport d'or.

Figure 118 : La Tour du CN.



Source :

https://fr.wikipedia.org/wiki/Tour_CN

4. Le modulator : genèse d'une notion architecturale par le Corbusier

Le Modulor, un mot-valise composé de "Module" et "nombre d'or". Le terme de Module a été utilisé pour la première fois par Vitruve dans son « *Traité de L'Architecture* ». Puis, en 1942, Le Corbusier l'a réintroduit dans la charte d'Athènes comme un système ou une échelle de mesure. Il considère que « les outils de mesure des Grecs, des égyptiens et d'autres civilisations évoluées comme étant infiniment riches et subtils, car ils font partie des mathématiques du corps humain, gracieux, élégant, qui confirme la source de cette harmonie qui nous meut, la beauté » (Ching, 2019 : 330). Son outil de mesure, le modulor, est issu à la fois des mathématiques (les dimensions esthétiques du nombre d'or et la suite de Fibonacci) et des proportions du corps humain (dimensions fonctionnelles) (Ibid.). Basé sur le Nombre d'Or et les proportions du corps humain, le Modulor est une tentative

architecturale, d'établir un ordre mathématique d'après des dimensions humaines. Le rapport entre la taille humaine standard (1,83 m) et la hauteur moyenne du nombril (1,13 m), par exemple, est égal à 1,619, soit le nombre d'or à un millième près.¹³

Le Corbusier, s'appuyant sur les séries du mathématicien Fibonacci du 13^{ème} siècle, dans lesquelles chaque terme est la somme des deux précédents (1-1-2-3-5-8-13-... ; $8/13 = 1,618$) (Hugues : 19), a eu le mérite en 1950 de publier son Modulor ramenant le nombre d'or à des nombres relationnels et des dimensions significatives pour le corps et les gestes de l'homme, applicables universellement à l'architecture et à la mécanique (Von Meiss, 2012 : 77). Un deuxième volume, modulor II, a été publié en 1955.

Selon les auteurs Guillerme et Boudon, le Modulor est un « essai un peu forcé, mais ingénieux et original, de lier deux séries de Fibonacci aux dimensions d'habitat déduites des positions et des mouvements de l'homme ».

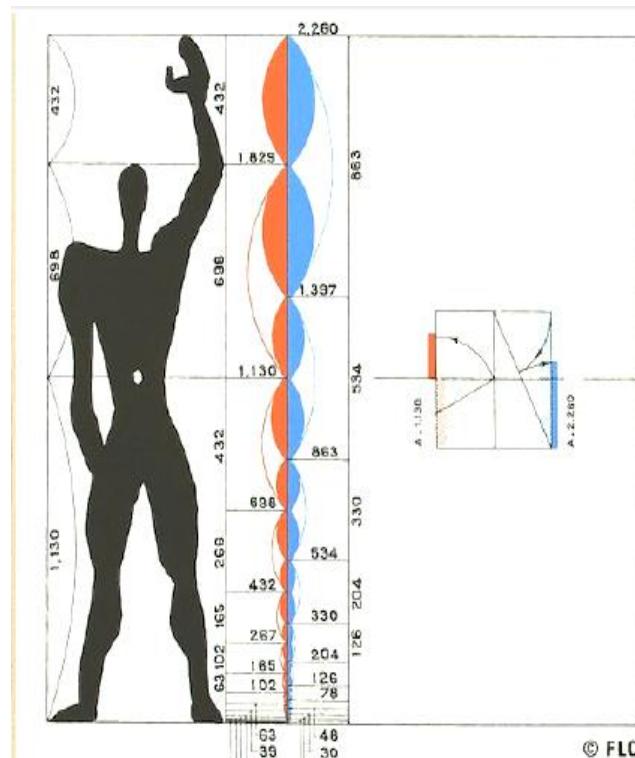
En d'autres mots, le Corbusier souhaite construire une architecture nouvelle à l'échelle de l'homme basée sur la liaison des dimensions de l'habitat avec les dimensions du corps humain par une formule mathématique. Il considère son modulor « comme un système de mesure capable de gérer les longueurs, les surfaces et les volumes, mais aussi de maintenir partout l'échelle humaine tout en se prêtant à l'illimité des compréhensions ; il assure l'unité dans la diversité...le miracle des nombres » (Ching, 2019 : 331).

5. La grille basique du modulor

Sur sa grille, Le Corbusier représente la silhouette d'un homme debout, levant un Bras (Figure 119) à partir de laquelle l'architecte définit « une gamme de dimensions harmoniques à l'échelle de l'homme universellement applicable à l'architecture comme à la mécanique » (Bussagli, 2005). La grille basique est constituée de trois mesures, 113, 70 et 43 centimètres, proportionnées selon le nombre d'or : $43+70=113$, $113+70=183$ et $113+70+43=226$ (2×113) (Ching, 2019 : 330) où ces dimensions correspondent à une hauteur de plafond de 226 cm, une hauteur de bar de 113 cm, une hauteur de table de 70 cm et une hauteur de chaise de 43 cm.

De ce fait, cette silhouette, d'une taille standard fixée à 183 cm (6 pieds), est inscrite dans un rectangle de 113x226 cm formé de deux carrés superposés au niveau du nombril. À partir de 113 et 226. Le Corbusier développa les séries rouges et bleues, ramenant les échelles de dimensions à celles de la statue humaine.

Figure 119 : La grille basique du moduler avec ses séries rouges et bleues.



Source :

<http://fondationlecorbusier.fr/corbuweb/morpheus.aspx?sysId=13&IrisObjectId=7837&sysLanguage=fr-fr&itemPos=83&itemCount=216&sysParentName=&sysParentId=65>

Le moduler prend appuie sur une série de nombres dite rouge et une série de nombres dite bleue avec des mesures en mètres et en pieds. Une division successive de la hauteur totale en segments dont les rapports voisins correspondent au nombre d'or, donne la série de Fibonacci 226, 140, 86, 53, 33, 20, etc. (série bleue). Une division successive de la demi-hauteur, c'est-à-dire du carré de 113cm, donne la deuxième série de Fibonacci 113, 70, 43, 27, 16, etc. Vers le bas et ajoute vers le haut la stature de l'homme étalon, 183 cm = 70+113 (série rouge) (Von Meiss, 2012 : 77).

6. La coordination dimensionnelle et ses implications dans le projet

Les éléments architecturaux sont dimensionné et proportionnés par leur fonction, leur propriétés structurelles et leur processus de fabrication (Ching, 2019, p. 310). « Étant usinés, ils présentent des tailles et des proportions particulières imposées par des fabricants ou par les standards industriels » (Ibid.)

Ce recours à l'industrie impose aux architectes une coordination dimensionnelle tenant compte des produits existant sur le marché. En guise d'exemple, les blocs de béton et de brique ordinaires nécessitent pour leur fabrication des unités de construction modulaires. Même si elles sont de différentes tailles, elles sont proportionnées selon les mêmes critères. De même, Les proportions des sections en acier ou des portes et des fenêtres sont souvent définies successivement par les usines d'acier et par les fabricants (Ibid.)

Ces matériaux préfabriqués caractérisés par leur unification, standardisation, et leur normalisation issus d'une modulation prise comme base de dimensionnement doivent « s'assembler et s'associer de façon cohérente lors de la construction d'un bâtiment (Ibid.).

En se basant sur ces dimensions, il apparaît un principe de modulation correspondant à la notion de progression arithmétique au service des besoins du bâtiment :

- D'une part en raison de l'unicité de l'ordre de grandeur des dimensions en matière de bâtiment, qui se ramène à l'homme « mesure de toute chose » et ne s'étend pratiquement que du décimètre au mètre ou à ses multiples.
- D'autre part en raison des techniques essentiellement additives du bâtiment qui consistent, le plus souvent, à juxtaposer des éléments identiques briques, blocs de béton, lames de parquets, marches d'escaliers, etc.

En France la norme NF P 01-001 a pour module de base 10cm. En application de principe de modulation, toutes les cotes d'une construction doivent être des multiples de 10, de 5 ou de 2,5cm.

7. La notion d'échelle en architecture

Si la proportion est considéré comme « un ensemble de liens mathématiques entre les dimensions d'une forme ou d'un espace, l'échelle se réfère à la manière dont nous percevons ou jugeons la taille de quelque chose par rapport à autre chose. Face à la notion d'échelle, nous nous inscrivons par conséquent toujours dans un processus de comparaison d'une chose par rapport à une autre » (Ching, 2019 : 341). En guise d'exemple, l'échelle d'un dessin d'architecture précise la taille du bâtiment dessiné par comparaison avec le bâtiment réel.

Dans l'histoire de l'architecture, la notion d'échelle fait son apparition significativement au XIXe siècle. En effet, bien après Vitruve, elle est théorisée par l'architecte et théoricien français Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc (1814-1879), dit « Viollet-le-Duc », un des architectes français les plus célèbres de l'époque. (Cegielska : 17)

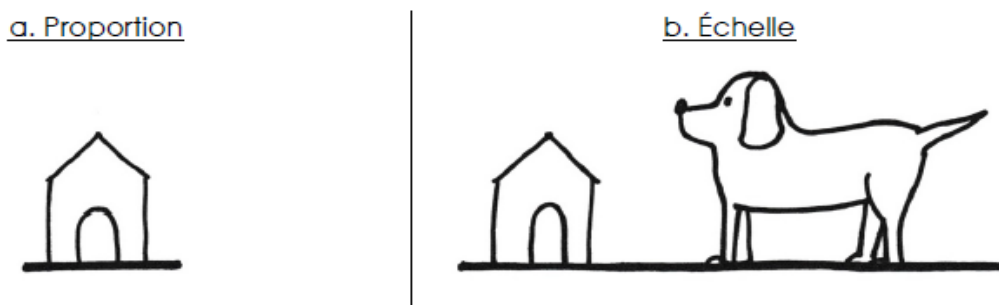
Dans son « *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle* » (1854-1868), Viollet le Duc considère qu'en architecture, l'échelle est le rapport de la taille de quelque chose par rapport à une norme de référence ou à la taille de quelque chose d'autre : taille relative. Il explique son idée à travers la cabane de chien, « l'échelle d'une cabane à chien est le chien, c'est-à-dire qu'il convient que cette cabane soit en proportion avec l'animal qu'elle doit contenir. Une cabane à chien dans laquelle un âne pourrait entrer et se coucher ne serait pas à l'échelle » (Ibid.).

Dans la définition actuelle du mot échelle dans le dictionnaire on y retrouve belle et bien les propos de Viollet-le-Duc, c'est-à-dire le fait de mettre en relation deux ou plusieurs éléments (Ibid.). Donc, l'échelle est en premier lieu une relation de mesure comparative à notre propre corps et nos possibilités d'utiliser un ouvrage, voire de le maîtriser physiquement (y pénétrer, y montrer, y séjourner) ou mentalement (l'accepter comme signe, comme lieu, comme représentation) (Von Meiss, 2012 : 69).

Cet exemple nous permettra de déceler la différence entre la proportion et l'échelle. Si l'on examine les proportions de la cabane à chien, on peut par exemple analyser le rapport entre la hauteur et la largeur de celle-ci. Ce rapport peut être satisfaisant à l'œil de l'observateur

ou pas. Par contre, Celle-ci entre en jeu lorsque l'on fait référence à un 2ème élément, notamment au chien auquel appartient la cabane. C'est là qu'il faut poser la question : la cabane est-elle à l'échelle du chien ? Dans notre cas, vue que la taille du chien n'est pas proportionnelle aux dimensions de la cabane (car beaucoup plus importante), la cabane n'est pas à l'échelle du chien (Cegielska : 20) (Figure 120).

Figure 120: Dessin illustrant la différence entre la proportion et l'échelle.



Source : Cegielska : 20

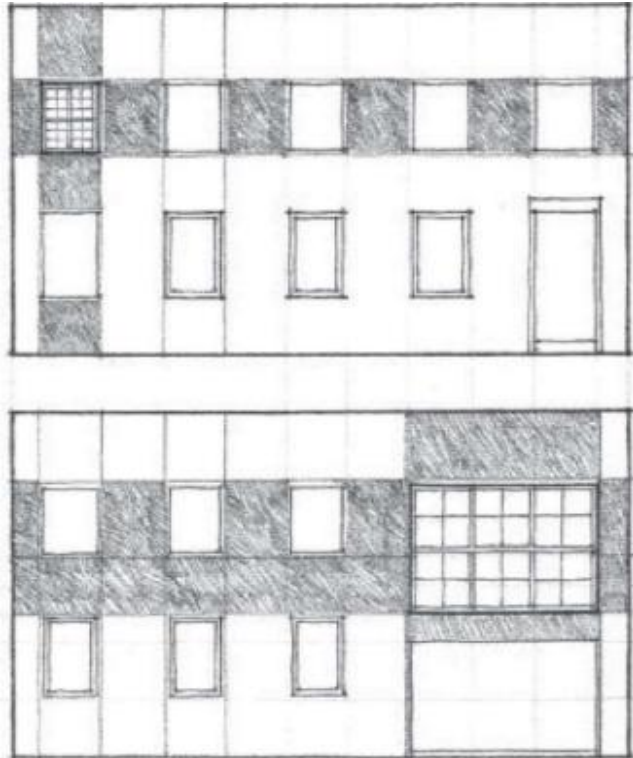
7.1.L'échelle visuelle

La notion d'échelle visuelle est d'une grande importance, puisque « elle ne se réfère pas aux dimensions réelles d'une chose mais plutôt à combien elle paraît petite ou grande par comparaison à sa taille usuelle ou à d'autres éléments dans le contexte donné » (Ching, 2019 : 342). De nombreux éléments de construction ont des dimensions et des caractéristiques qui nous sont familières et que nous utilisons pour mesurer la taille des autres éléments autour d'eux. Des éléments comme les fenêtres et les portes nous aident à avoir une idée de la taille d'un bâtiment et du nombre d'étages qu'il a.

On parle d'échelle urbaine lorsqu'on évoque la taille d'un projet par rapport au contexte d'une ville, d'échelle du quartier lorsqu'on évoque comment un projet est inséré dans son environnement proche (Idem : 342). À l'échelle d'un bâtiment, « dans tous les cas, nous percevons la taille de chaque élément par rapport à d'autres parties ou à l'ensemble d'une composition » (Ibid.).

Par exemple, Si les fenêtres d'une façade sont toutes de la même taille et de la même forme, elles établissent une échelle relative à la taille de la façade (Ching, 2019 : 342). « Toutefois, si une des fenêtres est plus grande que les autres, une échelle différente sera créée dans la composition de la façade. Ce changement d'échelle peut indiquer la taille, l'importance ou la destination de l'espace situé derrière cette fenêtre ou bien il peut simplement vouloir modifier notre perception des autres fenêtres ou de la façade » (Ibid.) (Figure 121).

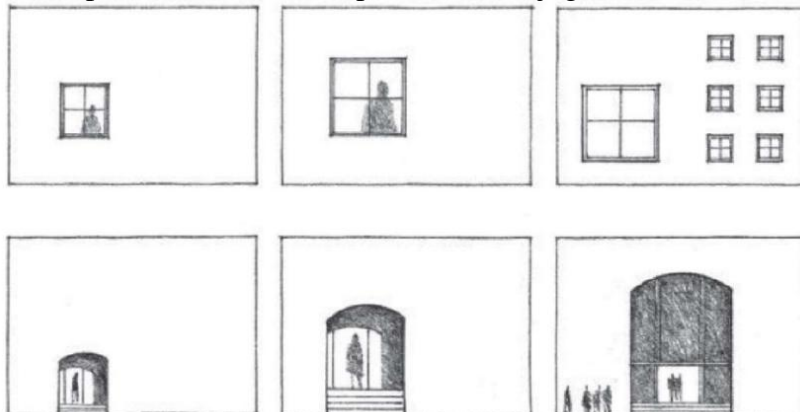
Figure 121 : L'échelle visuelle dans les façades.



Source : Ching, 2019 : 342

« De nombreux éléments de construction possèdent des tailles et des caractéristiques qui nous sont familières et que nous utilisons pour juger de la taille d'autres éléments les entourant » (Ching, 2019 : 343). Les fenêtres ou les portes des maisons sont des éléments familiers qui nous donnent une idée de l'ampleur du bâtiment et de combien d'étage il dispose (Figure 122). La disproportion de ces éléments peuvent être employés délibérément pour modifier notre perception de la taille d'un bâtiment ou d'un espace (Ibid.).

Figure 122 : Les portes et les fenêtres permettent de juger la taille du bâtiment.



Source : Ching, 2019 : 343

Certains bâtiments présentent deux échelles ou plus qui opèrent simultanément. En guise d'exemple, Le portique d'entrée de la bibliothèque de l'université de Virginie, inspirée du Parthénon à Rome, est à l'échelle de la forme globale du bâtiment tandis que la porte et les fenêtres derrière elles sont à l'échelle de la taille des espaces intérieurs (Figure 123).

Figure 123 : L'université de Virginie.



Source : <https://www.slideshare.net/stanly33/principles-of-design-theory-of-design-module-2-proportionscale-hierarchy-etc>

Aussi, Le colisée à Rome, pendant sa première phase de sa restauration, sans et avec escalier- deux poids deux mesures. C'est l'escalier de chantier qui révèle le caractère monumental d'un édifice « à 12 étages » plutôt que trois (Figure 124).

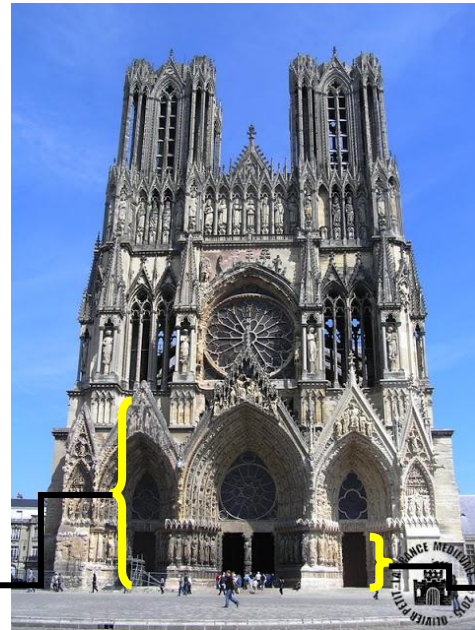
Figure 124 : Le colisée à Rome pendant la première phase de sa restauration.



Source : <https://www.infoimmo.ch/articles/rome-mecenas/>

Les portails d'entrée en retrait de la cathédrale de Reims (Figure 125) sont monumentaux puisque ils peuvent être perçus à distance comme étant un accès vers les espaces intérieurs de l'église. Cependant, en se rapprochant, on constate que les entrées sont de simples portes à l'échelle humaine.

Figure 125 : La cathédrale de Reims.



Le portail ← → La porte

Source :

<http://lafrancemedievale.blogspot.com/2015/06/reims-51-cathedrale-notre-dame.html>

7.2.L'échelle humaine

Un espace à une échelle monumentale nous donne la sensation d'être petit. Par contre, un espace à une échelle plus intime peut définir un environnement confortable et contrôlable à une échelle humaine où nous nous sentons à l'aise. En architecture, l'échelle humaine prend appui sur les dimensions et les proportions du corps humain. Puisque ces dimensions variaient d'un individu à l'autre, elles ne peuvent donc pas être considérées comme des mesures absolues (Ching, 2019 : 344).

Entre les trois dimensions d'une pièce, la hauteur est celle qui a le plus d'impact sur l'échelle que nous percevons. Alors que les murs d'une pièce assurent la notion d'enfermement, la hauteur du plan de plafond détermine ses qualités en tant qu'abri et définit son niveau d'intimité [...] Outre la dimension verticale d'un espace, d'autres facteurs peuvent affecter son échelle, comme : la forme, la couleur et le motif de ses espaces, la forme et la disposition de ses ouvertures et la nature et l'échelle des éléments qu'il contient (Idem : 345).

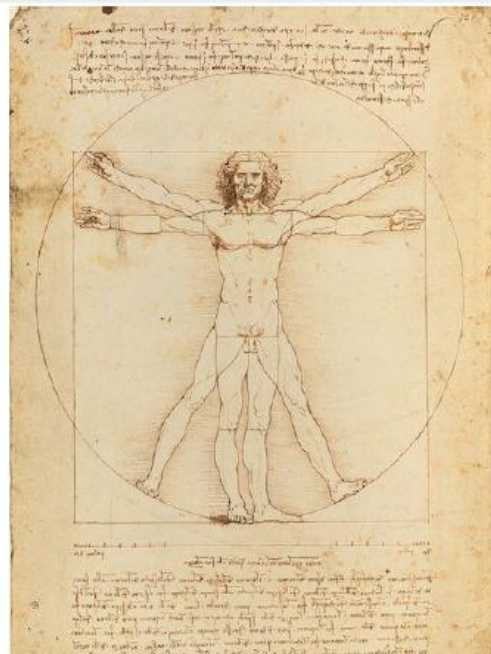
8. L'anthropométrie

L'anthropométrie est une méthode traitant de la mesure de la taille et des proportions du corps humain. Elle ne cherche pas des ratios abstraits ou symboliques mais plutôt fonctionnels (Ching, 2019 : 338). « Ces derniers s'appuient sur la théorie selon laquelle, en architecture, les formes et les espaces sont des contenants et les extensions du corps humain et doivent donc être déterminés par ses dimensions » (Ibid.).

La difficulté au système de proportion anthropométrique réside dans le choix des données requise pour son utilisation car les dimensions et les proportions du corps humain influent sur les dimensions du mobilier que nous utilisons et sur les hauteurs et les distances des choses que nous essayons d'atteindre. Ces dimensions fonctionnelles varient selon la nature de l'activité pratiquée et la nature des individus (différence d'un individu à un autre (selon leur sexe, selon leur âge et selon leur origine) (Ching, 2019 : 339).

Depuis longtemps, Léonard de Vinci y analyse la morphologie humaine de manière scientifique en se basant sur les théories de Vitruve. Il voit non seulement un lien entre le corps humain et l'architecture, il défend même l'idée que l'homme est le modèle géométrique idéal pour l'architecture. Sa pensée s'appuie sur un ensemble de textes et de dessins représentant un homme, en deux positions superposées, les bras et les jambes écartées, parfaitement inscrit dans un cercle et un carré (Figure 126); le cercle et le carré étant deux formes géométriques considérées comme parfaites pendant la Renaissance. Par son travail, Léonard de Vinci met en évidence les proportions du corps humain, comme par

Figure 126 : L'homme de Vitruve de Léonard de Vinci.



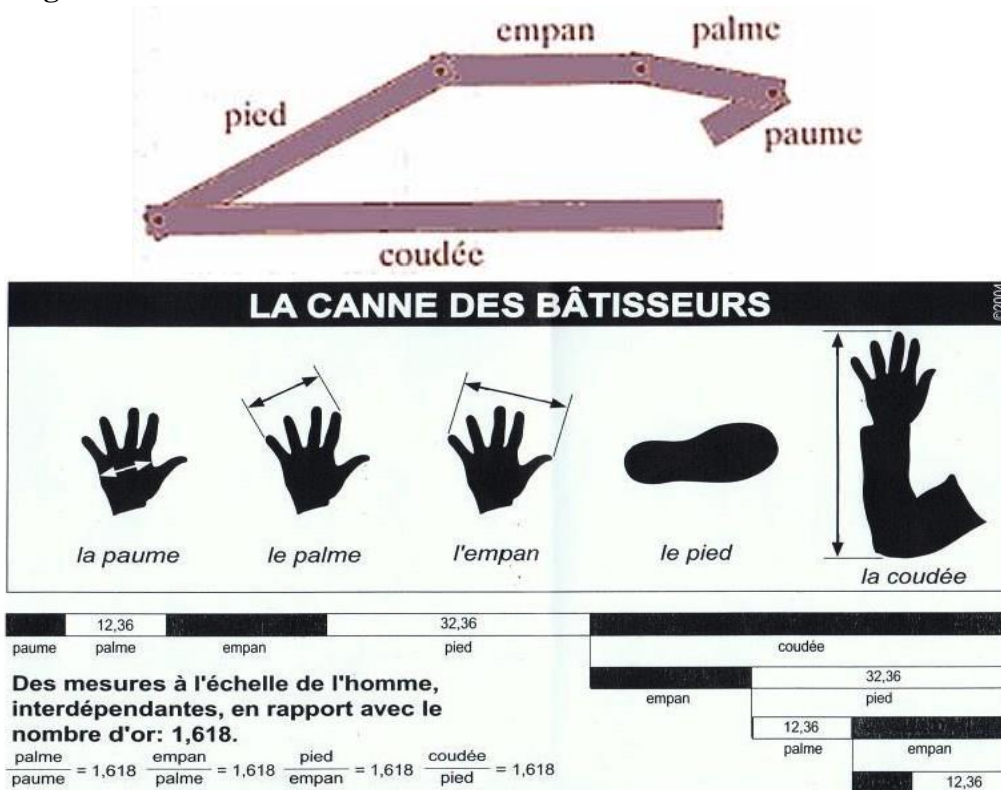
Source :

<https://www.courrierinternational.com/article/culture-la-justice-italienne-suspend-le-pret-au-louvre-de-lhomme-de-vitruve-de-leonard-de>

exemple le fait que quatre doigts forment une paume, quatre paumes forment un pied, six paumes constituent la distance entre le haut du doigt et le coude, vingt-quatre paumes équivalent à la hauteur d'un homme. (Cegielska : 26)

Dans ce sillage, Les mesures du corps humain ont été prises comme référence pour déterminer la longueur de toutes choses. Par conséquent, elles ont servi de base aux unités de mesure de longueur ancestrales. Plus encore, Hocquet souligne que les mesures du corps humain ont servi de base à « la perfection et l'équilibre des monuments que nous ont laissés les anciennes civilisations, depuis les pyramides ou le Parthénon jusqu'aux cathédrales gothiques ou aux églises baroques (...) » (Idem : 24). Les bâtisseurs de cathédrales utilisaient une pigne articulant 5 unités de mesure relatives au corps humain (Figure 127). Chaque unité était égale à la somme des deux unités précédentes et chaque unité était égale à la précédente multipliée par le nombre d'or.

Figure 127 : La canne des bâtisseurs.



Source : <https://www.revesdemarins.com/blog/le-mystere-de-pythagore>

9. L'ergonomie

9.1.L'ergonomie, essai de définition

Les mesures du corps humain, étant en étroite relation avec l'environnement, ont une influence sur celui-ci, notamment sur l'architecture. « L'architecture et le corps humain se rencontrent concrètement au niveau ergonomique. Les rapports entre la dimension, la forme et le geste font l'essentiel de ce qui caractérise «l'échelle humaine» (Von meiss, 2012 : 69) de la forme au lieu.

Page | 93

L'ergonomie est un terme qui vient du grec ancien : érgon (« travail ») et nómos (« loi ») coordonnant ainsi « la conception des appareils, des systèmes et de l'environnement avec nos capacités et nos nécessités physiologiques et psychologiques » (Ching, 2019 : 339). En 1988, elle a été définie par la société d'Ergonomie de Langue Française comme « la mise en œuvre des connaissances scientifiques relatives à l'homme, et nécessaires pour concevoir des outils, des machines et des dispositifs qui puissent être utilisés avec le maximum de confort, de sécurité et d'efficacité pour le plus grand nombre » (Christian, 2012 : 25). Puis, en 1949, le terme ergonomie a été adopté officiellement lors de la création de l'Ergonomic Research Society où se réunirent des ingénieurs et organisateurs du travail dans une perspective d'amélioration du rendement de l'homme au travail, des chercheurs, physiciens et physiologistes dans un souci de comprendre le fonctionnement de l'homme en activité et des médecins se situant dans un courant hygiéniste de protection de la santé des ouvriers (Ibid.).

De ce fait, L'ergonomie s'appuie sur deux sources de connaissances à savoir « Les disciplines scientifiques décrivant les propriétés de l'homme relatives au corps humain (biomécanique, physiologie, anthropométrie) et à la pensée humaine (psychologie, psychologie cognitive, psychologie sociale, sociologie) » (Ibid.).

En définitif, Nous considérons l'ergonomie comme une discipline scientifique qui s'intéresse aux relations physiques et même psychologiques entre l'homme et ses espaces et objets dont il se sert contribuant à l'améliorer les conditions d'utilisation de l'espace en fonction des mesures, gestes et activités de l'homme (Von Meiss, 2012 : 67) et à

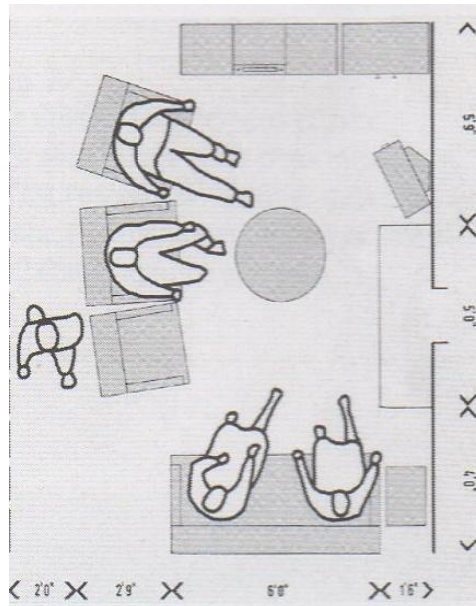
l'élaboration du programme en s'appuyant sur l'analyse des situations de travail et d'usages, à la conception et à l'évaluation des tâches, des produits, des conditions de travail et des systèmes pour les rendre compatibles avec les besoins, les capacités, les possibilités et les limites des êtres humains dans le but d'optimiser le bien-être des hommes et la performance globale du système dans son ensemble.

Toute intervention ergonomique impose de caractériser l'ensemble des paramètres d'une situation de travail : les opérateurs, la tâche et ses conditions de réalisation, le contexte socio-économique et culturel, les résultats du travail, et ses effets sur les personnes. Elle repose sur l'analyse du travail qui met en relation tâche et activité (Figure 128) :

- Les tâches sont des objectifs à atteindre dans des conditions déterminées,
- L'activité est la mise en œuvre de l'organisme (fonctions physiques, sensorielles) et de pensée (processus cognitifs...) pour réaliser ces tâches. Elle comporte différents aspects, comme la recherche d'information, la prise de décision, l'action sur les commandes, les communications avec d'autres personnes... Pour réaliser une tâche donnée, l'activité dépend donc des caractéristiques de l'utilisateur et de la situation d'utilisation (Christian, 2012 : 26).

L'objectif de l'analyse ergonomique du travail est la compréhension du fonctionnement des opérateurs confrontés à la réalisation de leurs tâches. Pour obtenir un aménagement réussi, il faut prendre en compte le travail tel qu'il est réellement effectué par le personnel et non tel qu'il est écrit dans une description de tâches. La compréhension de la logique des opérateurs nécessite l'étude des comportements et modes opératoires réellement utilisés. Même dans les situations les plus contraignantes, les opérateurs ne suivent pas les prescriptions à la lettre et mettent en place des stratégies pour faire face aux variabilités et incidents.

Figure 128 : Le dimensionnement optimal nécessaire pour une activité.



Source : Ching, 2012 : 67

Une erreur en ergonomie est fatale pour la réputation d'un architecte car « une erreur de proportions surface/hauteur d'une classe scolaire peut créer un écho tel, que l'espace devient quasi inutilisable pour sa destination première » (Von meiss, 2012 : 67) C'est pourquoi, « le dimensionnement correct des espaces ne peut jamais être pas inné; il est le résultat d'une longue observation et d'expériences, dont les résultats sont accessibles dans divers manuels, complétés par le Web. Autrefois l'ouvrage le plus utilisé par les architectes était » (Ibid.), en Amérique le "*Architectural Graphic Standards*" et en Europe "*Les éléments des projets de construction*" (1963), communément connu sous le nom de son auteur, l'architecte allemand Ernst Neufert. L'ouvrage qui a pour but de standardiser l'architecture. Il est un véritable guide architectural, car il contient une immense bibliothèque d'exemples concrets de mesures dans les domaines de l'habitat, des lieux de travail, des espaces publics, etc.

9.2.Ergonomie et architecture

Jour après jour, l'ergonomie est intégrée à la conception des situations de travail dans des projets architecturaux. Le processus de conception architecturale désigne ici à une construction progressive de choix afin de constituer le cadre futur du travail (Martin, 1998 ; Ledoux, 2000), lesquels se déploient dans trois domaines : le service, l'espace et

l'organisation du travail (Bellemare et al., 2004). « L'intervention ergonomique d'accompagnement de projets architecturaux consiste ainsi à participer à la définition du cadre futur de travail en plaçant l'activité de travail au cœur de la réflexion sur le futur de manière à prévenir « là où se construit le risque » (Ibid.). Une telle intervention prend naissance dès l'étape de programmation et se poursuit au cours des phases successives menant à l'élaboration des plans puis à celle des travaux. Son objet doit plutôt s'élargir de manière à couvrir l'aménagement de l'ensemble des espaces ainsi que l'organisation future du travail (Ibid.), elle permet d'apporter des précisions sur les usages et les activités de travail réelles, existantes ou futures et de faciliter la mise en situation des différents utilisateurs .

L'ergonome utilise des savoir-faire liés notamment à la connaissance du facteur humain (psychologie, sociologie, ergonomie, anthropologie, écologie, physiologie, cognitif), à la connaissance de l'homme au travail (organisation, management, évaluation, risques professionnels) et à la connaissance de l'homme en général (développement durable, enjeux sociétaux, qualité d'usage, bien-être). En bout du compte, il prendra soin de mettre en œuvre ces dispositifs dans une approche systémique du projet. À cette étape, l'ergonome participe à l'élaboration du programme en s'appuyant sur l'analyse des situations de travail et d'usages. L'analyse des besoins, fondée sur des observations et des entretiens in situ, permet de contribuer à l'élaboration de schémas fonctionnels du futur bâtiment. Cette analyse peut se traduire par des positions d'ouvrages ou de services les uns par rapport aux autres et des descriptions de flux. Autrement dit, l'ergonome construit les simulations de flux et d'activité qui permettent aux usagers de garder un lien avec la représentation des activités humaines dans le futur bâtiment.

10. Notions élémentaires de programmation

10.1. Diagnostic

10.1.1. Analyse de l'existant

Cette phase nécessitant des échanges importants sur le terrain avec les utilisateurs, des analyses de données quantitatives de flux a pour but l'évaluation des opportunités

d'amélioration de la situation actuelle et l'utilisation des points forts à reconduire dans les situations futures.

10.1.2. Définition des besoins et programmation

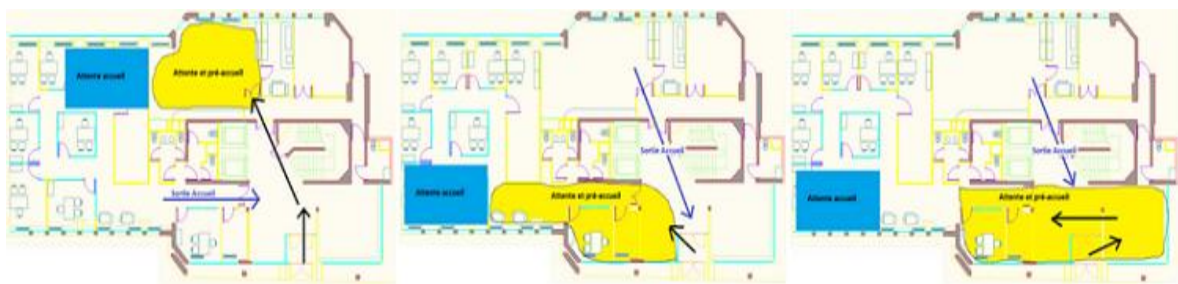
Cette phase met l'accent sur la définition approfondie de l'ensemble des besoins des utilisateurs à savoir l'organisation, le flux, le matériels nécessaire, les besoins de stockage, etc.

10.2. Conception ergonomique

10.2.1. Scénarios d'usage et simulation

Durant cette phase l'ergonome récolte les futurs besoins des utilisateurs des espaces et propose différents scénarios d'organisation (Figure 129) qui seront testé par la suite avec les utilisateurs du projet. À ce moment, Il choisit entre les différentes solutions envisagées, afin de favoriser la simulation des différentes solutions grâce aux scénarios élaborés lors des analyses ergonomiques en amont du projet et de retenir celles qui satisfera le maximum de critères.

Figure 129 : Les scénarios envisagés d'un projet de bibliothèque.

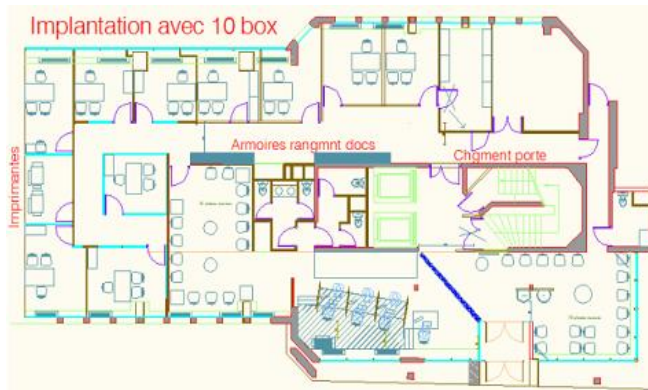


Source : <https://www.action-ergo.fr/b-programmation-&-conception-implantation.html>

10.2.2. Conception ergonomique de l'aménagement

Une implantation détaillée à l'échelle est réalisée sur plan (figure 130). Ce travail est effectué conjointement avec l'architecte pour intégrer les aspects techniques et budgétaires.

Figure 130 : L'implantation de l'aménagement sur plan et à l'échelle.

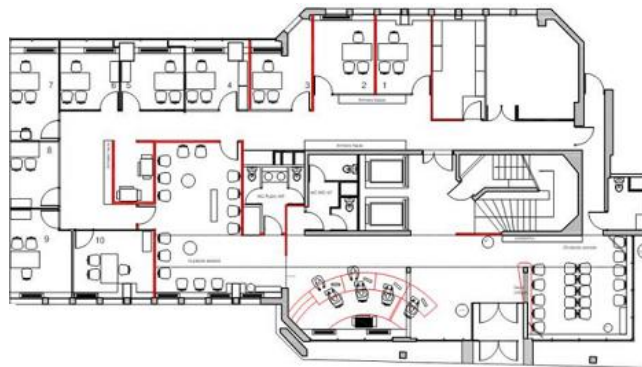


Source : <http://www.action-ergo.fr/b-programmation-&-conception-implantation.html>

10.3. Conception architecturale

L'architecte reprend les plans fonctionnels pour y intégrer des aspects architecturaux et techniques (Figure 131).

Figure 131: Le plan architectural avec l'aménagement nécessaire.



Source : <https://www.action-ergo.fr/b-programmation-&-conception-implantation.html>

Conclusion

L'espace est défini par le concept d'échelle et de proportion des choses qui nous entourent, qui sont observées à travers la lentille d'un homme. Cela nécessite de voir un objet comme un élément urbain de l'identité architecturale qui, avec son échelle et sa proportion, constitue une partie d'un contexte urbain. La façon dont un objet particulier influence ledit contexte, et vice versa, et la relation de certains éléments de l'objet à la notion d'échelle et de proportion est également en considération.

En outre, l'échelle peut être considérée comme un principe sous-jacent de la transition d'un espace à l'autre ou de l'établissement d'un lien entre les mesures des deux espaces, tandis que la proportion signifie l'établissement d'un lien entre les mesures contenues dans un espace unique. L'architecture, vue de point de vue du concept et du produit fini, c'est-à-dire le moment où elle devient une entité physique, est caractérisée par une composante psychologique de l'émotion qui est dérivée de la partie échelle du concept-taille. C'est pourquoi chaque architecte doit considérer tous les éléments d'un objet lors de la conception architecturale.

Chapitre 5 : Processus de projection, ses échelles et ses étapes

Plan du chapitre

Introduction

1. La conception, essai de définition
2. La conception et ses propriétés
 - 2.1. Une activité contraignante et créative
 - 2.2. Une activité à la fois cognitive et productive
 - 2.3. Une activité à la fois individuelle et collective
 - 2.4. Une activité coopérative et collaborative
3. Le processus d'élaboration du projet architectural
4. Les principaux moments de la conception architecturale
 - 4.1. La phase de préconception
 - 4.2. L'analyse du site
 - 4.3. La conception schématique du projet
5. La conception par la fonction, forme et structure
 - 5.1. La conception par la fonction
 - 5.2. *La conception par la forme*
 - 5.3. *La conception par la structure*
 - 5.4. La conception par la forme, la fonction et la structure
6. Comme synthèse aux différentes étapes du processus de création

Conclusion

Processus de projection, ses échelles et ses étapes

Introduction

L'architecte s'inscrit dans un processus de conception créative, à la recherche d'un scénario, en manipulant de larges connaissances issues de domaines différents, aussi bien dans des domaines techniques (nombreuses et diverses techniques du bâtiment) qu'artistiques, historiques ou socioculturels afin de concevoir l'espace. C'est pour cette raison que la formation en architecture doit « impliquer indéniablement l'enseignement théorique sous toutes ses formes et qui doit être complété par une implication réelle, c'est-à-dire par un enseignement pratique » (Hammou, 2016 : 85). Par conséquent, l'œuvre architecturale traduit le passage de l'idée à l'image par le biais du dessin.

1. La conception, essai de définition

Selon Larousse, la conception concerne la manipulation d'une « représentation générale et abstraite d'un objet ou d'un ensemble d'objets ». La conception prend appui sur la projection mentale des idées. Elle permet la création d'un objet ou d'un système répondant à un besoin plus ou moins exprimés en temps fini (Laaroussi, 2007 : 16) grâce à la mise en œuvre des mécanismes ou des méthodes formelles (Ibid.). Autrement dit, « la conception consiste à donner un ensemble de propositions permettant de décrire le produit (forme, dimensions, moyens d'obtention...) et répondant globalement à un cahier des charges (fonctions à assurer, conditions de fonctionnement, durée de vie souhaitée, environnement, ...) » (Tichkiewitch *et al.*, 1993).

2. La conception et ses propriétés

La conception se caractérise par des propriétés dont sa nature « à la fois contrainte (on conçoit en vue de répondre à un besoin, donc à un ensemble de contraintes) et créative (on ne peut prédire son résultat et son cheminement, même à très court terme). Elle est à la fois cognitive et productive, puisqu'on ne peut concevoir sans produire des supports et des environnements externes appelés artefacts. Enfin la conception est le plus souvent à la fois individuelle et collective » (Laaroussi, 2007 : 16).

2.1. Une activité contraignante et créative

La conception est une activité répondant à un besoin exprimé à travers un ensemble de contraintes prescrites (réunies dans un cahier des charges) et temporelle (la solution est limitée en un temps fini) (Idem : 17). Face à ces contraintes, le concepteur utilise non seulement des spécifications initiales (normes, réglementations, etc) mais il en formule certaines, puis il en construit un certain nombre en s'inspirant le plus souvent des règles de métier ou d'un style de conception donnée (Laaroussi, 2007 : 17). Malgré que la gestion de cet ensemble de contraintes est cerné progressivement par itérations mais ce là ne signifie pas que les contraintes prescrites initiales identiques déboucheront sur des résultats identiques où un même programme donne autant de projets différents.

En plus son caractère contraint, la conception apparaît aussi comme une activité créative. Cette dernière n'exprime pas une créativité d'œuvre propre à l'artiste, à fort contenu personnel et affectif, mais comme une créativité de produit (Deforge, 1990). Cette créativité

ne s'apprécie qu'après avoir comparé des conceptions de différentes personnes ou équipes travaillant sur le même cahier des charges (Falzon *et al*, 1987).

2.2. Une activité à la fois cognitive et productive

Une des activités cruciales de la conception réside dans la définition du couple problème-solution. Pour gérer la complexité de ce couple, l'architecte adopte différentes stratégies cognitives. Cette complexité s'estompe à travers trois étapes à savoir la formulation des problèmes, le développement d'une solution et l'évaluation de cette solution (Prost, 1992). En définitive, « concevoir, c'est avant tout se représenter un contexte, des solutions possibles compte tenu des choix des autres qu'il faudra réaliser ; au plan cognitif, cela signifie qu'à tout moment le concepteur est amené à recoder le contexte : il est donc en permanence en situation d'apprentissage, réinstancié à chaque décision prise par les autres » [De Terssac, 1996].

Durant le processus de conception, l'architecte doit faire appel aux objets intermédiaires dont les traces et les supports de l'action à concevoir. En guise d'exemple, le plan constitue un « un puissant moyen de coordination. Il intègre dans ses solutions le réalisme du projet [de conception], en restituant des invariants de l'objet sous un point de vue qui permet de capter le maximum d'informations sur l'objet, pour le minimum de coût graphique » (Lebahar, 1983), sa fonction réside dans le fait de définir avec plus ou moins de détails la forme et l'arrangement de l'artefact final et de faciliter la formulation de problème et la caractérisation de solutions cohérentes (Laaroussi, 2007 : 18).

2.3. Une activité à la fois individuelle et collective

La conception ne renvoie pas à une « activité cognitive susceptible d'être menée par un esprit unique » (Idem : 19), c'est une activité où se réunissent de nombreux acteurs guidés « par deux objectifs : se synchroniser dans le temps et sur le plan de l'action « synchronisation temporo-opératoire », et se synchroniser sur le plan cognitif « synchronisation cognitive » (Darses et Falzon, 1996).

2.4. Une activité coopérative et collaborative

Les éléments suscités mettent l'accent sur les modalités de nature fondamentalement collective : la coopération et la collaboration. Si la coopération est définie comme « une organisation collective du travail dans laquelle la tâche à satisfaire est fragmentée en sous-tâches. Chacune de ces sous-tâches est ensuite affectée à un acteur, soit selon une distribution

parfaitement horizontale dans laquelle tâches et acteurs sont équivalents, soit selon une logique d'attribution en fonction des compétences particulières de chacun » (Cerisier, 1999). Tandis que la collaboration désigne « une situation de travail collectif dans laquelle tâche et but sont communs. Tous les acteurs travaillent sur les mêmes points. » (Ibid.).

3. Le processus d'élaboration du projet architectural

Le processus d'élaboration du projet architectural est constitué selon Lebahar (1983) par « un ensemble de situations de résolution de problème qui met les acteurs en demeure de produire une solution » (cité par Bendeddouch, 1998 : 38). Ceci confirme que le couple formulation problème/ solution est au cœur de développement du projet architectural (Djafi, 2005 : 37).

Le résultat de ce processus dynamique est le fruit « d'une démarche itérative comportant de nombreux bouclages entre les couples formulation de problème/ solution (Prost, 1992) et les acteurs de disciplines complémentaires qui en assurent le développement d'un design mieux adapté aux contextes. Le nombre de ces acteurs croît au fur et à mesure de l'avancement du projet (Bendeddouch, 1998 : 230). Donc, le processus d'élaboration du projet architectural nécessite un groupe pluridisciplinaire (architecte, ingénieur, sociologue, etc) « qui pèse d'un poids déterminant sur l'activité de création particulière qu'est l'architecture » (Tric, 1999 : 6).

Conan dans son ouvrage intitulé « concevoir un projet architectural » (1990) met l'accent sur le processus illustrant la conduite du projet architectural par le biais de quatre phases à savoir la programmation, l'élaboration schématique du projet, l'élaboration finale du projet, les détails d'exécution et la construction. Il propose à travers un processus allant de la formulation du problème à la formulation d'une proposition de solution « d'attirer l'attention des intervenants sur la nécessité d'aborder l'étude du projet avec un niveau élevé de détails et d'approfondissement au stade de l'élaboration conceptuelle et physique du projet, en rapport au degré de complexité du couple formulation de problème/solution. Soit en amont ou en aval du processus, ces phases présentent les niveaux successifs du projet qui permettent son approbation et son identification » (Djafi, 2005 : 39).

La phase programmation représentant le point de départ de la conception permet de définir les aspects de l'aménagement, d'éclaircir l'ensemble des orientations pour une meilleure appréhension de la conception et de reformuler les intentions, les desseins, les besoins et les données exprimées par le client (Ibid.). Les phases d'élaboration du projet (ESP, EFP)

définissent, par contre, « les types de réponses possibles aux problèmes rencontrés, sous forme d'options et d'hypothèses de leur proposition jusqu'à leur formulation » (Ibid.). Ces réponses seront concrétisées par des plans et des propositions d'aménagement reflétant et traduisant les critères d'organisation fonctionnelle du projet (Ibid.). Enfin la phase de construction ne peut être entamée qu'après un cadrage juridique et réglementaire du projet. « Ce document juridique ne couvre pas en détail chaque aspect de chaque objet. Néanmoins il décrit le processus de sa préparation et de sa mise en forme, facilitant de la sorte l'utilisation d'une procédure commune pour les différents acteurs » (Djafi, 2005 : 40).

4. Les principaux moments de la conception architecturale

4.1.La phase de préconception

Désignée souvent sous le nom de programmation. Selon Duerk (1993) la programmation architecturale est « le processus systématique de recueil et d'analyse des informations au sujet d'un bâtiment ou de tout autre projet et ensuite utiliser cette information pour créer des directives pour la réalisation de ce projet ».

4.2.L'analyse du site

Est traitée en tant que phase distincte parce qu'elle implique probablement l'engagement d'une activité in-situ dans le cas de projets réels.

4.3.La conception schématique

La phase de conception schématique ou d'esquisse est une étape de résolution des problèmes dans cette phase. Ce qui est désigné comme la «part créatrice» se rapporte habituellement à la phase de conception schématique où des concepts principaux de la forme et de l'espace sont dégagés.

La naissance du projet architectural « exige d'être réalisé dans le monde matériel par le cerveau et par la main. Le cerveau conçoit l'espace mathématique en termes de nombres et de mesures. La main maîtrise la matière par la technique, à l'aide des instruments et des machines » (Hammou, 2016 : 85). Elle prend appui sur une approche articulant création, créativité, composition, formalisation et processus (Idem : 99). Sa matérialisation est exprimée, dans un premiers temps, à travers une phase de construction de l'idée (Idem : 105) appelée la conception désignant « une succession de tâtonnements qui reste au stade de

recherche de l'idée » (Idem : 112). Cette étape nécessite un temps de réflexion pour la mûrir, la structurer et la rendre compréhensible (Idem : 118).

Dans cette étape trois étapes apparaissent:

- L'idée et les idées du projet : « la conception est générée par des concepts, car c'est un produit intellectuel. La synthèse de la phase analytique, les objectifs et intentions de l'architecte en sont un ensemble de concepts qui vont constituer l'idée du projet » (Ibid.). Cette dernière, généralement au singulier, contribue à identifier le projet et émerge soit du programme, du terrain, de l'architecte ou de leur imbrication (Tableau 4).

Tableau 4 : Les sources d'émergence de l'idée du projet.

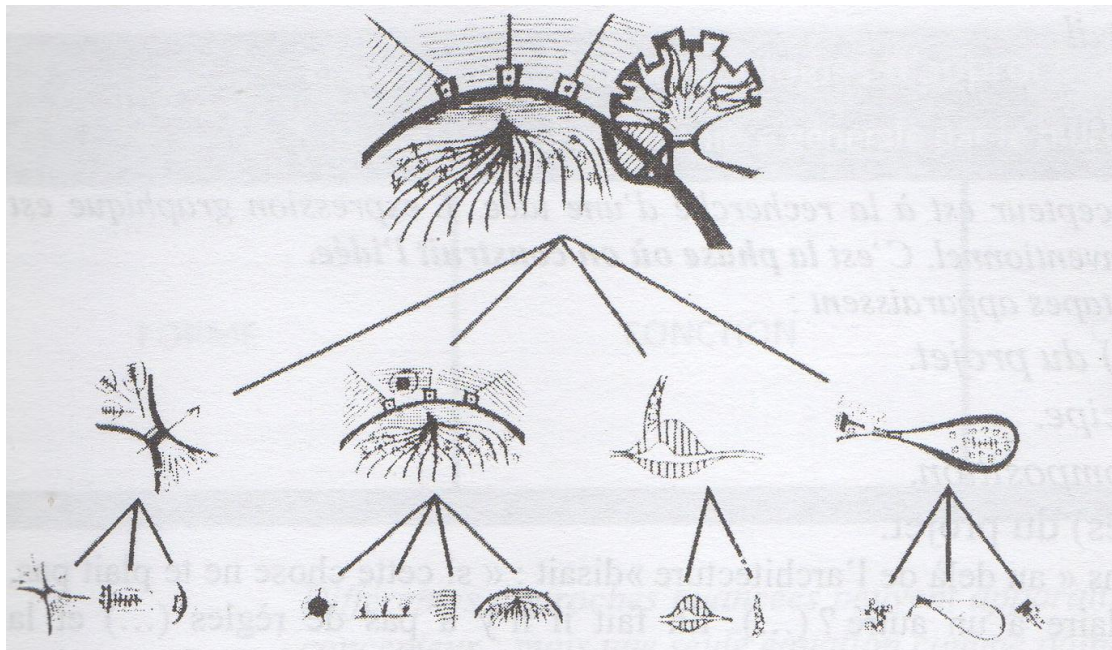
Programme	Terrain	L'architecte	Programme/Terrain/Architecte
Projet de bibliothèque sous forme d'un livre.	C'est la prise en compte des différentes contraintes et valeurs du site (ex : La villa de la cascade).	C'est rechercher l'esprit du projet en terme de valeurs architecturales : ex la villa Savoye	Formulation la plus cohérente : personnaliser le projet dans le contexte.

Source : Hammou, 2016 : 105

Tandis que pour les idées du projet, l'architecte a recouru à son imagination : images et concepts sont substances indispensables pour la genèse de la forme. Autrement dit, ces idées construisent les différentes parties du projet (qui s'expriment souvent en schéma de principe et principe de composition).

- Le schéma de principe : « Croquis très personnel du concepteur (sans une explication de l'auteur, le schéma est incompris). Les dessins sont souvent très loin du conventionnel. Ex: un schéma d'Alexander Christopher : sans légende d'accompagnement le dessin semble une fiction » (Idem : 106) (Figure 132).

Figure 132 : Schéma d'Alexander Christopher.



Source : Hammou, 2016 : 106

- Le principe de composition : « La notion de composition fait souvent appel à des modalités d'assemblage, de l'arrangement des éléments dans un espace. La notion de composition est liée à la géométrie. Après le choix d'un principe (d'un schéma de principe), intervient la phase de sa géométrie » (Idem : 107).

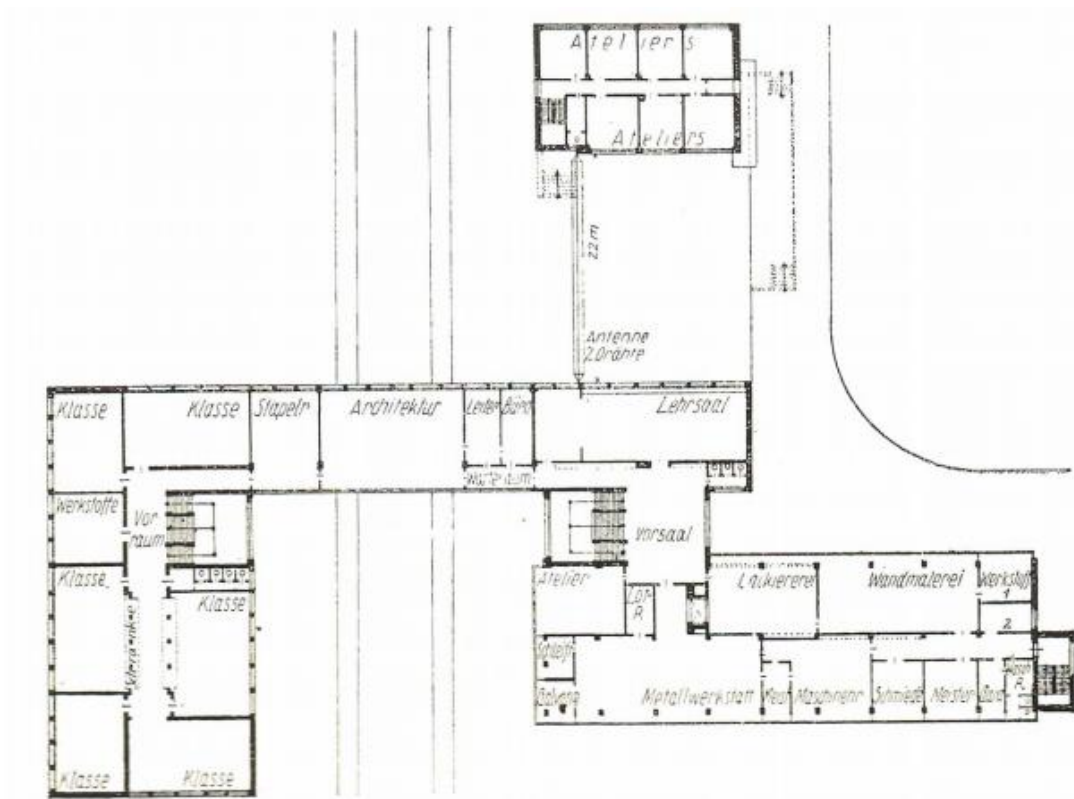
Le principe de composition est le fruit de plusieurs démarches adoptées selon l'architecte. Ces démarches peuvent être liées à la fonction, la forme, la structure ou à leur imbrication.

5. La conception par la fonction, forme et structure

5.1. La conception par la fonction

« C'est un compartimentage des différentes activités et fonctions, où l'architecture perd ses proportions, son langage avec l'environnement et sa lecture urbaine. L'instrument de toute la réflexion est sans doute l'étude ergonomique; sans prendre en considération ni l'environnement immédiat ni l'environnement lointain » (Idem : 103). La recherche de bâtiments significatifs où la fonction s'est adaptée à la forme (la fonction détermine la forme) (Figure 133). L'importance de l'organigramme constitue un moyen crucial d'organisation des fonctions d'un programme

Figure 133 : Plan du Bauhaus (La forme suit la fonction).

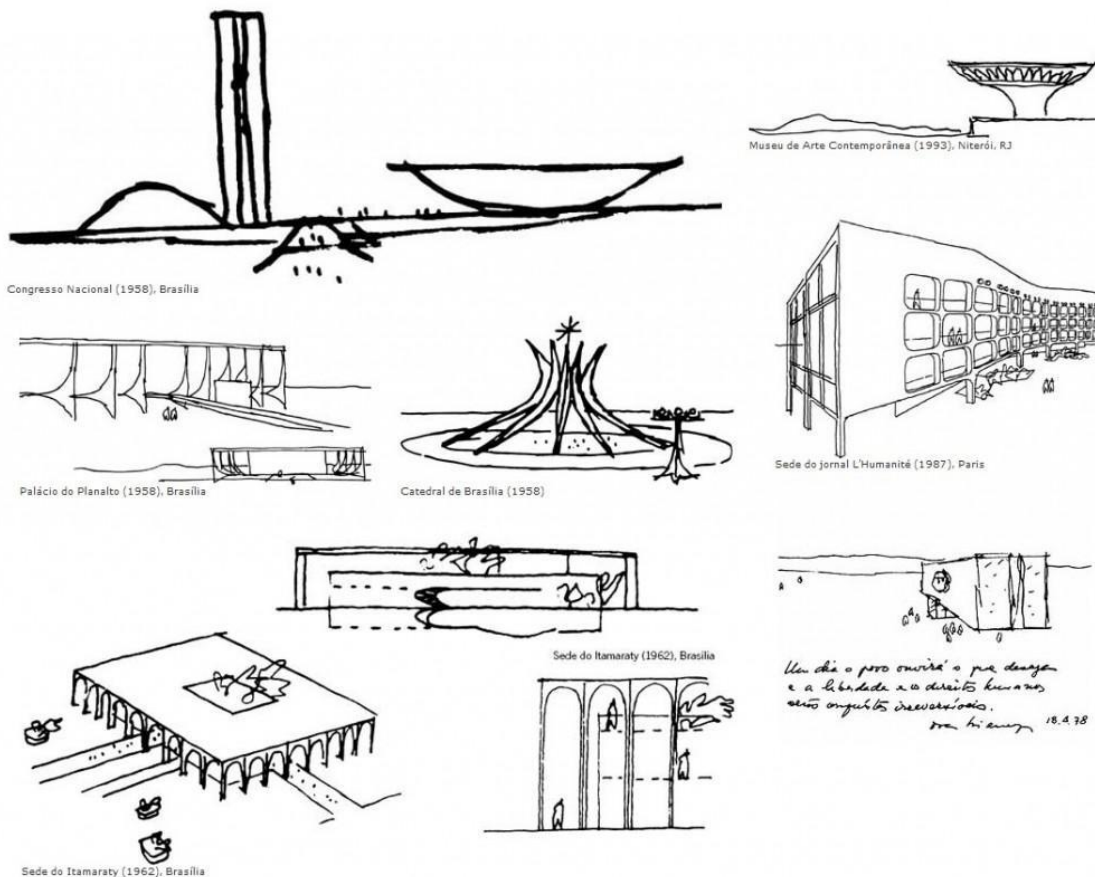


Source : Brunetti, 2014 : 14

5.2. La conception par la forme

« Créativité qui émane de l'idée de composition géométrique et formelle; c'est le domaine du formalisme, de l'esthétique et de l'utopie » (Idem : 103). L'analyse débouchera sur la découverte des différentes démarches de la conception architecturale par la forme (formes primaires, organiques, composées, symboliques, emblématiques, imbrication, addition, soustraction, emboîtement, ...) (Figure 134).

Figure 134 : Des croquis de projets architecturaux d'Oscar Niemeyer.

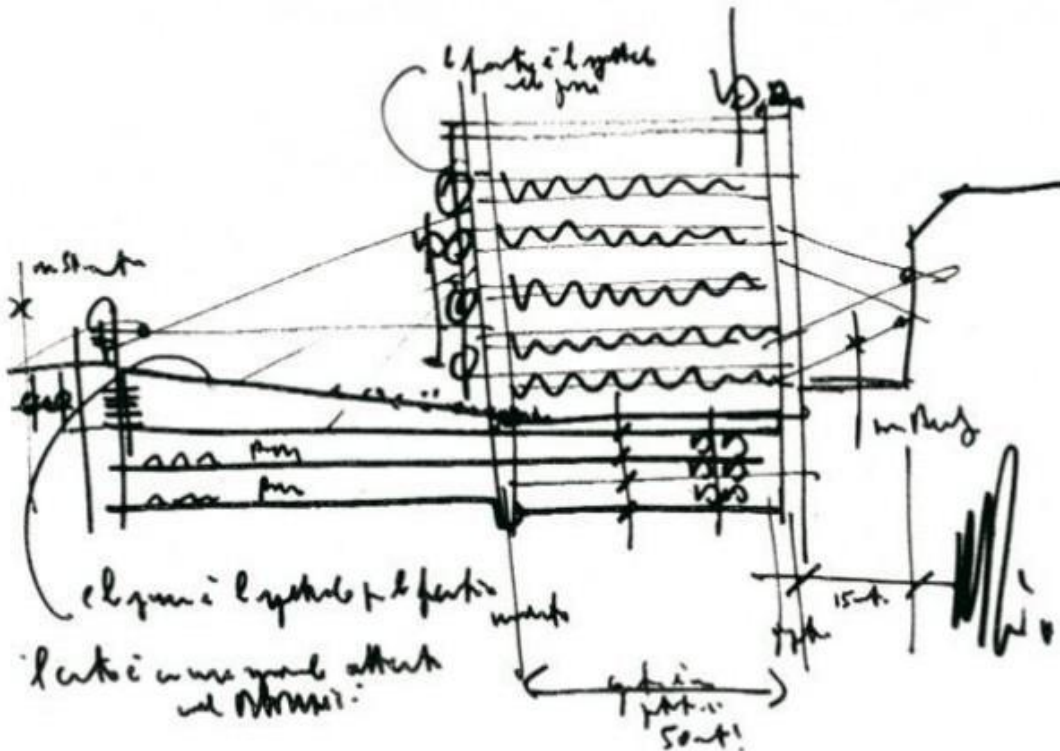


Source : <https://www.paperblog.fr/5962649/architectes-et-designers-le-reve-futuriste-d-oscar-niemeyer-le-poete-des-courbes/>

5.3. La conception par la structure

La structure est un élément majeur dans le processus de conception architecturale pour lui donner une dimension technique et scientifique. L'exercice se déroulera en plusieurs étapes dont la recherche et l'analyse des différentes typologies de structures et le rappel des lois élémentaires de la physique et de la stabilité des ouvrages (compression, traction, flambement, torsion...). Les architectes à forte conception structuraliste et high-tech sont : Perret, Gerhy, Renzo Piano et Rogers (Figure 135 et 136), Calatrava (Figure 137, 138).

Figure 135: Croquis du centre national d'art et de culture George Pompidou.



Source : <https://www.maisonapart.com/edito/autour-de-l-habitat/architecture-patrimoine/le-centre-pompidou-fete-son-architecte---richard-r-912.php>

Figure 136 : Façade du centre national d'art et de culture George Pompidou.



Source : <https://www.maisonapart.com/edito/autour-de-l-habitat/architecture-patrimoine/le-centre-pompidou-fete-son-architecte---richard-r-912.php>

Figure 137 : Le musée de demain, Rio de Janeiro, Brésil, Santiago Calatrava.



Source : <https://mymodernmet.com/santiago-calatrava-buildings/>

Figure 138 : Cité des arts et des sciences, Espagne, Santiago Calatrava.



Source : <https://mymodernmet.com/santiago-calatrava-buildings/>

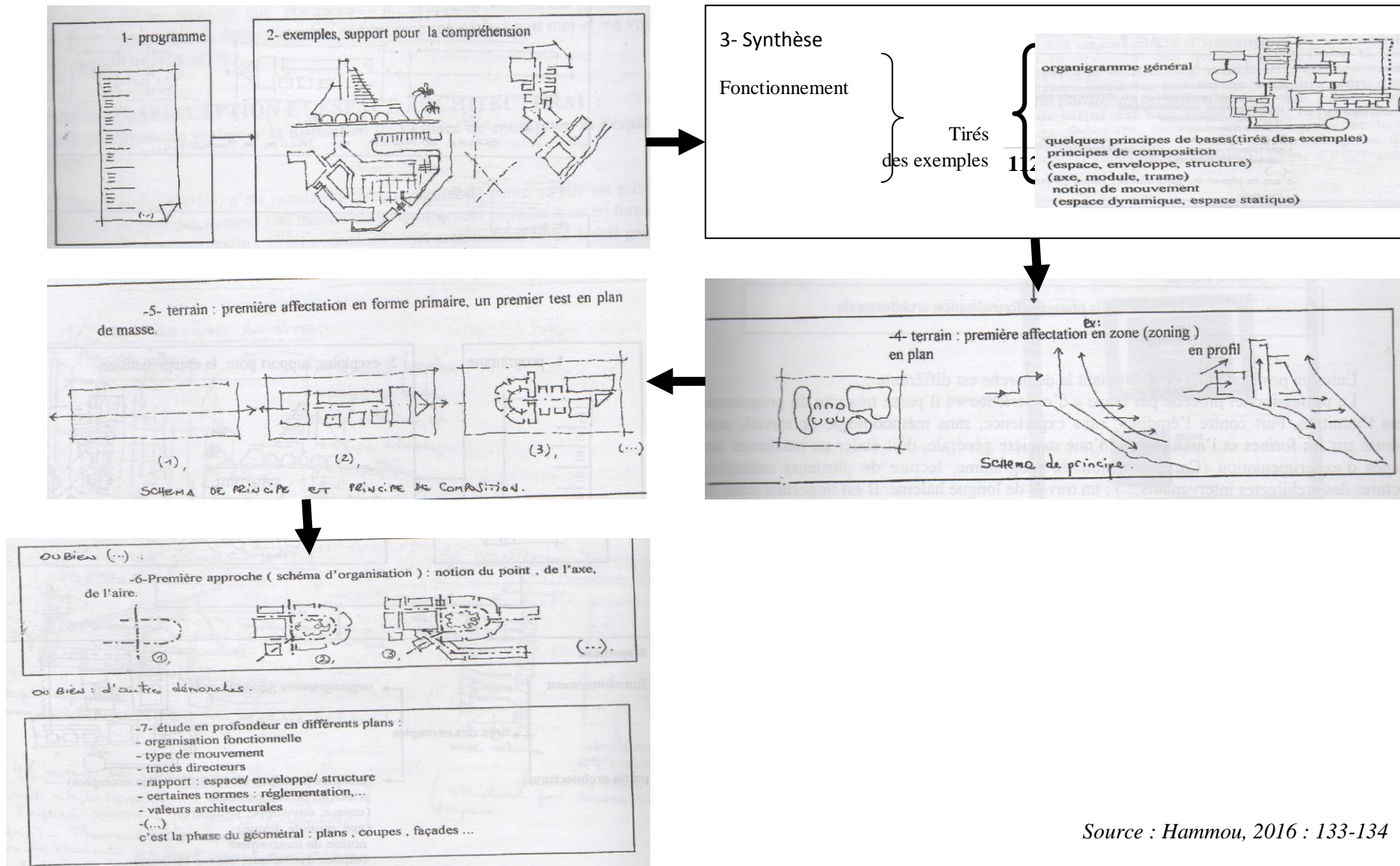
5.4. La conception par la forme, la fonction et la structure

Cette démarche est la plus garante assurant à la fois un objet architectural et un objet urbain. « Elle exige de l'architecte une profonde connaissance théorique et une compétence en matière des trois entités » (Idem : 103).

6. Comme synthèse aux différentes étapes du processus de création

Chaque projet architectural nécessite une démarche particulière puisque la conception d'une clinique exige de mettre l'accent sur le confort physique et psychique des usagers et donc elle commence par la fonction et ignore l'esthétique du projet. Tandis que la conception d'une mosquée ou un centre culturel, qui se caractérise plus ou moins par une facilité fonctionnelle, donne plus d'importance à la forme (Hammou, 2016 : 131). Le processus de création du projet architectural peut être résumé dans le schéma ci-dessous (Figure 139) :

Figure 139 : Schéma de synthèse des différentes étapes du processus de création architecturale.



Source : Hammou, 2016 : 133-134

Conclusion

Selon Prost (1992), le processus d'élaboration du projet architectural est un mécanisme de pensée itératif qui a pour finalité de fournir une ou plusieurs propositions à un problème complexe pour lequel il n'existe pas de solution idéale. Il prend appuie sur le fait de diminuer le degré de complexité du problème proposé jusqu'à ce qu'elle soit abordable (Djafi, 2005 : 40). Ce processus est constitué comme une chaîne qui peut être lu « simultanément à trois niveaux, à savoir : comme processus d'échange toujours plus ou moins négociable avec le client, comme processus de collaboration plus ou moins conflictuelle avec d'autres acteurs de la conception, et enfin comme processus d'élaboration intellectuelle soumis à des situations particulières » (Ibid.).

Page | 113

Autrement dit, en se basant sur les acquis nécessaires, l'architecte étudie le programme et le contexte. « Lorsque les conditions sont réunies, le désordre s'installe dans l'esprit du concepteur, ce deuxième temps est plus ou moins long où une concentration mentale est profonde et nébuleuse : où se produit le travail de recherche » (Hammou, 2016 : 83). Durant cette phase, un nombre de solutions s'installe dans l'esprit de l'architecte. Ce dernier élimine les solutions inadéquates selon sa sensibilité jusqu'à l'obtention de la meilleure solution qui sera visible, par la suite, grâce au dessin car c'est « par l'image que l'idée prend forme et devient réelle » (Ibid.).

Synthèse des acquis du deuxième semestre

À côté de l'atelier de projet, la théorie du projet en architecture reflète un enseignement théorique structurant la formation des futurs architectes. Cet enseignement n'est qu'une tentative de débarrasser tant d'ambiguïté sur la notion du projet architectural. Ce dernier ne suit pas une route tracée d'avance mais subit d'incessantes modifications liées à un corps d'idées qui lui permettent d'exister et d'évoluer à chaque instant en fonction de l'avancement des étapes du processus d'élaboration du projet et des acteurs intervenants.

Établir un projet architectural consiste donc, à considérer tout d'abord qu'ils existent de nombreux facteurs influençant la forme finale de la construction dont le type de structure et des matériaux qui s'inscrivent sous la notion de l'art de construire apportant soin, selon les règles de l'art tant dans la conception que dans la réalisation d'une construction (**chapitre 1**).

Ainsi, la forme architecturale est le fruit de la jonction de deux aspects complémentaires et inséparable qui sont la forme et l'espace car c'est à travers la prise en considération d'une relation mutuelle entre l'espace intérieur et son environnement (espace extérieur). Cette dualité est issue d'une symbiose des éléments positifs et négatifs (**chapitre 2**).

En réalité, la qualité essentielle du projet naît à partir d'une triade vitruvienne combinant beauté, solidité et utilité. Plus précisément, le projet doit être synonyme d'un objet digne d'appréciation esthétique intégrant le souci de durabilité et de fonctionnalité. De ce fait, l'évaluation de la forme architecturale est intrinsèquement liée à la manière dont elle satisfait à ses fonctions (**chapitre 3**).

En plus, L'attractivité de la forme architecturale nécessite d'être bien proportionné. C'est pour cette raison, que depuis longtemps, la géométrie euclidienne a toujours été octroyée à des dimensions et des mesures issues du corps humain puisque c'est l'élément équilibré de référence de l'ordre de l'univers (**chapitre 4**).

Les relations si importantes entre forme, espace, structure et fonction constituent des outils de base d'un savoir capable de nourrir l'idée architecturale durant le processus de conception (**chapitre 5**).

Liste des figures

Figure 1.	Les charges permanentes et variables.	7
Figure 2.	Le comportement de la structure sous les différentes charges.	8
Figure 3.	Les types de fondation.	9
Figure 4.	Les semelles filantes.	10
Figure 5.	Les semelles isolées.	10
Figure 6.	Le radier.	10
Figure 7.	Les fondations profondes et semi-profondes.	11
Figure 8.	Les types de murs de soutènement.	12
Figure 9.	Le système constructif en pierre.	13
Figure 10.	La citadelle, Annaba.	13
Figure 11.	La muraille, Vieille-Ville, Annaba.	13
Figure 12.	La bibliothèque nationale et universitaire de Ljubljana.	14
Figure 13.	Château d'Esquelbecq (France).	14
Figure 14.	Monadnock de Burnhamet et Root (1891-1893).	15
Figure 15.	Maison du Chili Hambourg, Fritz Höger (1922-1924).	15
Figure 16.	Chapelle Notre-dame-du haut, 1956.	15
Figure 17.	Sea Ranch, Moore Lyndon Turnbull Whitaker et Berkeley, Californie USA, 1965.	16
Figure 18.	Palais de Justice, Bordeaux, Richard Rogers en 1998.	16
Figure 19.	Un portique en acier.	17
Figure 20.	un poteau en béton armé.	17
Figure 21.	Vue en plan.	18
Figure 22.	La passerelle reliant le MUCEM et le fort Saint-Jean.	19

Figure 23.	Les longrines.	19
Figure 24.	La tour Eiffel, Paris.	20
Figure 25.	Le pont de Bayonne (1931) sur le kill à New York.	21
Figure 26.	Le pont Yavuz Sultan Selim sur le Bosphore à Istanbul.	21
Figure 27.	Aéroport de Washington-Dulles, Virginie, 1958-1963.	22
Figure 28.	le stade de l'Allianz Arena à Munich, Allemagne (2005).	23
Figure 29.	Le bassin de natation pour les jeux olympiques de Pékin, Chine (2008).	23
Figure 30.	Centre Pompidou-Metz.	24
Figure 31.	Le pavillon Allemand pour l'Exposition universelle de Montréal conçu par Frei Otto, 1967.	24
Figure 32.	Aéroport de Jeddah, Terminal Haj.	24
Figure 33.	Pontiac Silverdome, 1975.	25
Figure 34.	Le pont de Val Cenis.	26
Figure 35.	Toiture en coussins gonflables à l'aéroport de Munich, Allemagne	26
Figure 36.	L'intérieur du musée d'Orsay, Paris qui été à l'origine gare ferroviaire.	27
Figure 37.	Le hall d'arrivée des trains Eurostar dans la gare Saint Pancras de Londres, d'une portée de 73 mètres.	27
Figure 38.	La coupole du marché de Valence achevée en 1928.	28
Figure 39.	La coupole de la Galleria Vittorio Emanuele II.	28
Figure 40.	Palais des sports à Rome, 1957.	28
Figure 41.	La biosphère de Montréal.	29
Figure 42.	Le marché de Royan.	29
Figure 43.	Le restaurant Los Manantiales à Xichimilco.	30
Figure 44.	Les voûtes en éventail du CNIT à Paris.	30

Figure 45.	Rapport entre figures et arrières plans.	33
Figure 46.	Plan Taj Mahal, Agra, Inde. 1630-1653.	34
Figure 47.	Types d'ouverture dans l'espace	35
Figure 48.	Ouverture centrée et décentrée	35
Figure 49.	Les ouvertures multiples et regroupées	36
Figure 50.	Les ouvertures d'angle	36
Figure 51.	Les ouvertures verticales	36
Figure 52.	Les ouvertures horizontales	37
Figure 53.	Baies vitrées et puis de lumière	37
Figure 54.	L'approche frontale	38
Figure 55.	Villa Barbaro, Maser, Italie, 1550-1560, Andrea.	38
Figure 56.	La porte Qianmen assure le lien entre la cité interdite au nord et l'extérieur de la cité au sud, Pékin, Chine.	38
Figure 57.	L'approche oblique	39
Figure 58.	Maison de verre, New Canaan, Connecticut, Etat Unis, 1949, Philip Johnson.	39
Figure 59.	Plan du site, mairie de Säynätsalo, Finlande, 1950-1952, Alvar Aalto.	39
Figure 60.	L'approche en spirale	40
Figure 61.	Maison sur la cascade (Maison Kaufmann), Etats Unis, 1936-1939, Frank Lloyd Wright.	40
Figure 62.	Vue aérienne de l'Acropole, Athènes, Grèce.	40
Figure 63.	Place Saint-Marc, 1172 marquée par deux colonnes.	41
Figure 64.	Von sternberg House, Los Angeles, Californie, États unis, 1935, Richard Neutra.	41
Figure 65.	Une passerelle liant le MUCEM et le fort Saint-Jean.	41
Figure 66.	Palais des Filateurs, Ahmedabad, Inde, 1951, Le Corbusier.	41
Figure 67.	Des entrées perpendiculaires au parcours d'approche.	42

Figure 68.	Les types d'entrée	42
Figure 69.	Intersection et croisement des parcours.	43
Figure 70.	Un parcours segmenté au sein du mausolée de Taiyuin du sanctuaire de Toshogu, Nikko, Japon, 1636.	44
Figure 71.	Parcours en boucle au musée national des beaux-arts de l'occident, Tokyo, Japon, 1955, Le Corbusier.	44
Figure 72.	Un parcours radial, Karlsruhe, Allemagne, 1834.	44
Figure 73.	Un parcours en spirale au musée Guggenheim, New York, États-Unis, 1943-1959, Frank Lloyd Wright.	44
Figure 74.	Parcours tramé, d'un camp romain, vers le 1 ^{er} siècle.	45
Figure 75.	Parcours en réseau du Washington, États-Unis, 1792.	45
Figure 76.	Un parcours passant par les espaces	46
Figure 77.	Temple funéraire de Ramsès III, Médinet Habou, Égypte, 1193-1162 avant J-C.	46
Figure 78.	Un parcours passant à travers les espaces.	46
Figure 79.	Maison traditionnelle japonaise.	47
Figure 80.	Un parcours qui se termine dans un espace.	47
Figure 81.	Eric Boissonas House II, Cap Bénat, France, 1964, Philip Johnson.	47
Figure 82.	Un parcours enfermé d'un palais de la Renaissance.	48
Figure 83.	Un parcours ouvert d'un côté de santa maria della Pace, Rome, Italie, 1500-1504.	48
Figure 84.	Un parcours ouvert de deux côtés.	49
Figure 85.	La largeur et la hauteur de l'espace de circulation selon le trafic et la nature du mouvement.	49
Figure 86.	Des parcours avec des espaces de repos, d'arrêt et de contemplation.	50
Figure 87.	Des parcours déterminés par les activités et l'aménagement de l'espace.	50
Figure 88.	La pente de l'escalier doit être bien proportionnée.	51

Figure 89.	Des escaliers organisant un espace à différents niveaux.	52
Figure 90.	Le bâtiment Guaranty, l'un des chefs-d'œuvre de Louis Sullivan.	55
Figure 91.	L'usine Fagus dessinée par les architectes Walter Gropius et Adolf Meyer.	55
Figure 92.	Le Bauhaus de Walter Gropius.	56
Figure 93.	Bibliothèque d'Alvar Aalto à l'université de Jyväskylä en Finlande.	56
Figure 94.	La matrice d'une maison	60
Figure 95.	Le diagramme à bulles.	61
Figure 96.	La prise en compte de la séparation fonctionnelle et des accès dans l'élaboration du diagramme à bulles.	62
Figure 97.	Les données pertinentes du site (ensoleillement), un facteur si important dans l'élaboration de l'organigramme à bulles.	63
Figure 98.	La réorganisation des bulles jusqu'à l'obtention d'une meilleure disposition possible.	66
Figure 99.	L'établissement des relations fonctionnelles par l'analyse des données du site.	66
Figure 100.	l'enchevêtrement des relations de l'organigramme à bulles rend la lecture illisible.	67
Figure 101.	Un diagramme à bulles avec une hiérarchisation dans la nature des relations.	68
Figure 102.	L'organigramme spatial.	68
Figure 103.	Un zoning.	69
Figure 104.	Le nombre d'or en géométrie.	73
Figure 105.	la spirale de Fibonacci.	74
Figure 106.	La pyramide de Khéops.	75
Figure 107.	La façade du Parthénon est constituée de plusieurs rectangles d'or.	76
Figure 108.	Le théâtre d'Epidaure.	76
Figure 109.	Les cinq ordres classiques.	77

Figure 110.	Notre Dame de Paris.	78
Figure 111.	Notre Dame de Laon.	78
Figure 112.	Méthode de calcul d'une hauteur d'une pièce.	79
Figure 113.	Plan et coupe-élévation de la villa Palladio.	80
Figure 114.	Vue extérieure de la villa Palladio.	80
Figure 115.	L'utilisation du Ken dans la maison traditionnelle japonaise.	80
Figure 116.	L'unité d'habitation de Marseille.	81
Figure 117.	La maison Origlio.	81
Figure 118.	La Tour du CN.	82
Figure 119.	La grille basique du modulator avec ses séries rouges et bleues.	84
Figure 120.	Dessin illustrant la différence entre la proportion et l'échelle.	87
Figure 121.	L'échelle visuelle dans les façades.	88
Figure 122.	Les portes et les fenêtres permettent de juger la taille du bâtiment.	88
Figure 123.	L'université de Virginie.	89
Figure 124.	Le colisée à Rome pendant la première phase de sa restauration.	89
Figure 125.	La cathédrale de Reims.	90
Figure 126.	L'homme de Vitruve de Léonard de Vinci.	91
Figure 127.	La canne des bâtisseurs.	92
Figure 128.	Le dimensionnement optimal nécessaire pour une activité.	95
Figure 129.	Les scénarios envisagés d'un projet de bibliothèque.	97
Figure 130.	L'implantation de l'aménagement sur plan et à l'échelle.	98
Figure 131.	Le plan architectural avec l'aménagement nécessaire.	98
Figure 132.	Schéma d'Alexander Christopher.	106
Figure 133.	Plan du Bauhaus (La forme suit la fonction).	107

Figure 134.	Des croquis de projets architecturaux d'Oscar Niemeyer.	108
Figure 135.	Croquis du centre national d'art et de culture George Pompidou.	109
Figure 136.	Façade du centre national d'art et de culture George Pompidou.	110
Figure 137.	Le musée de demain, Rio de Janeiro, Brésil, Santiago Calatrava.	110
Figure 138.	Cité des arts et des sciences, Espagne, Santiago Calatrava.	111
Figure 139.	Schéma de synthèse des différentes étapes du processus de création architecturale.	112

Liste des Tableaux

Tableau 1.	Les types de charges et leurs sources.	6
Tableau 2.	le comportement de la structure sous les charges horizontales et verticales.	7
Tableau 3.	Les types de sollicitation.	8
Tableau 4.	Les sources d'émergence de l'idée du projet.	105

Références électroniques des figures

[Figure 1] <https://slideplayer.fr/slide/4012639/>

[Figure 2] http://blog.ac-versailles.fr/cabadonf/public/Synthese_materiaux.pdf

[Figure 3] <https://www.be-gph.fr/blog/215-fondations-superficielles-semi-profondes-ou-profondes-pourquoi.html>

[Figure 4] <http://constructionepau.wifeo.com/documents/semelles-filantes.pdf>

[Figure 5] <https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/ouvrage/fondations/typologie>

[Figure 6] http://www.algerie.prix-construction.info/renovation/Structure_et_gros_oeuvre/Fondations/Radiers/Radier.html

[Figure 7] mafuturemaison.fr

[Figure 8] https://www.castorama.fr/idees-et-conseils/comprendre-les-structures-et-murs-porteurs/CF_CPRD_npcart_100433.art

[Figure 9] <https://eco-renover.parc-vosges-nord.fr/comprendre-eco-renovation/le-bati-ancien-ce-qu-il-faut-savoir-avant-d-agir/la-maison-pierre.html>

[Figure 10] <http://cnra.dz/atlas/la-citadelle/>

[Figure 11] <http://cnra.dz/atlas/vieille-ville-de-annaba-vieille-ville-de-annaba/>

[Figure 12] <https://www.visitljubljana.com/fr/poi/bibliotheque-nationale-et-universitaire/>

[Figure 13] https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Chateau_d%27esquelbecq.jpg

[Figure 14] <https://structurae.net/fr/ouvrages/monadnock-building>

[Figure 15] https://fr.123rf.com/photo_54680782_grand-angle-de-la-c%C3%A9bre-maison-chilehaus-chile-%C3%A0-hambourg-en-allemande.html

[Figure 16] <https://www.batiactu.com/edito/haute-saone-restauration-vue-chapelle-ronchamp-signee-61238.php>

[Figure 17] <https://www.dwell.com/article/sea-ranch-architecture-7f30ea15>

[Figure 18] <https://www.pinterest.com/pin/1759287334490226/>

[Figure 19] <https://notech.franceserv.com/terminologie.html>

[Figure 20] <https://www.abc-maconnerie.com/technique/conseil/elevations-des-murs/poteaux-en-beton-arme.html>

[Figure 21] <https://fr.dreamstime.com/photographie-stock-plan-architectural-image19425922>

[Figure 22] <https://www.mucem.org/votre-visite/parcours-libres/du-j4-au-fort-saint-jean>

[Figure 23] <https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/ouvrage/fondations/typologie>

[Figure 24] <https://www.paris-forever.com/la-tour-eiffel/>

[Figure 25] <https://structurae.net/fr/ouvrages/bayonne-bridge>

[Figure 27] <https://fr.capitalregionusa.org/articles/trip-ideas-fr/5-raisons-de-choisir-1%E2%80%99a%C3%A9roport-international-de-washington-dulles>

[Figure 31] <https://parcolympique.qc.ca/toiture/2018/06/29/qui-est-frei-otto-le-pere-de-la-technologie-des-toiles-tendues/>

[Figure 32] <https://structurae.net/fr/ouvrages/terminal-haj-aeroport-international-du-roi-abdul-aziz>

[Figure 33] <https://www.csmonitor.com/Business/2009/1118/new-tale-of-detroits-woe-silverdome-sold-for-583000>

[Figure 34] <https://www.charpente-concept.com/realisations/pont-de-val-cenis/>

[Figure 39] https://fr.123rf.com/photo_90207955_milan-11-septembre-coupole-en-verre-de-la-galleria-vittorio-emanuele-ii-centre-commercial-emb1%C3%A9matique.html

[Figure 40] <https://www.gettyimages.fr/photos/biosph%C3%A8re-de-montr%C3%A9al>

[Figure 41] <https://www.azuremagazine.com/article/buckminster-fuller-montreal-biosphere/>

[Figure 42] <https://www.c-royan.com/arts-culture/architecture/la-ville-au-fil-du-temps/1441-histoire-du-marche-central.html>

[Figure 43] <https://www.admagazine.com/arquitectura/felix-candela-los-edificios-mas-importantes-20200525-6867-articulos.html>

[Figure 44] <https://fracademic.com/dic.nsf/frwiki/385408>

[Figure 65] <https://twitter.com/mucem/status/715086453022265344>

[Figure 90] <https://fr.scribd.com/document/434930998/Week-13-lecture-notes-07-jan-2014-pdf>

[Figure 91] <https://fr.scribd.com/document/434930998/Week-13-lecture-notes-07-jan-2014-pdf>

[Figure 92] <https://fr.scribd.com/document/434930998/Week-13-lecture-notes-07-jan-2014-pdf>

[Figure 93] <https://fr.scribd.com/document/434930998/Week-13-lecture-notes-07-jan-2014-pdf>

[Figure 94] <https://www.pinterest.com/pin/311452130452778720/>

[Figure 95] <https://nythrosadventures.blogspot.com/2020/08/interior-design-office-bubble-diagram.html>

[Figure 96] <https://www.dallasdex.org/wp-content/uploads/2020/03/Bubble-Diagram-Activity.pdf>

[Figure 97] <https://people.ohio.edu/ziff/ART%202650/Lecture%203-Diagrams-Sketches.pdf>

[Figure 98] <https://people.ohio.edu/ziff/ART%202650/Lecture%203-Diagrams-Sketches.pdf>

[Figure 99] <https://people.ohio.edu/ziff/ART%202650/Lecture%203-Diagrams-Sketches.pdf>

[Figure 100] <https://people.ohio.edu/ziff/ART%202650/Lecture%203-Diagrams-Sketches.pdf>

[Figure 101] https://www.pngkey.com/download/u2q8e6t4y3r5y3a9_bubble-diagram-architecture-architecture-layout-architecture-bubble-diagram/

[Figure 102] <https://nythrosadventures.blogspot.com/2020/08/interior-design-office-bubble-diagram.html>

[Figure 104] <https://fr.scribd.com/doc/137290038/Nombre-d-or-pdf>

[Figure 105] https://fr.wikipedia.org/wiki/Spirale_d%27or

[Figure 106] <https://professeurdoizi.wordpress.com/2016/01/20/la-pyramide-de-kheops-et-le-nombre-dor/>

[Figure 107] https://www.editions-ellipses.fr/PDF/9782340011731_extrait.pdf

[Figure 108] <https://sites.google.com/site/tpenombredorvigo/iii/2-monuments-celebres>

[Figure 110] <https://www.pinterest.it/pin/583075482976230782/>

[Figure 111] <http://bildsache.com/project/laon-cathedrale-notre-dame.html>

[Figure 114] <http://venisecotejardin.blogspot.com/2012/04/la-rotonda.html>

[Figure 116] <https://www.lemoniteur.fr/article/les-habitants-de-la-cite-radieuse-incendiee-prennent-la-parole.1213764>

[Figure 117] <http://www.botta.ch/en/SPAZI%20DELL-ABITARE?idx=13>

[Figure 118] https://fr.wikipedia.org/wiki/Tour_CN

[Figure 119]

<http://fondationlecorbusier.fr/corbuweb/morpheus.aspx?sysId=13&IrisObjectId=7837&sysLanguage=fr-fr&itemPos=83&itemCount=216&sysParentName=&sysParentId=65>

[Figure 123] <https://www.slideshare.net/stanly33/principles-of-design-theory-of-design-module-2-proportionscale-hierarchy-etc>

[Figure 124] <https://www.infoimmo.ch/articles/rome-mecenat/>

[Figure 125] <http://lafrancemedievale.blogspot.com/2015/06/reims-51-cathedrale-notre-dame.html>

[Figure 126] <https://www.courrierinternational.com/article/culture-la-justice-italienne-suspend-le-pret-au-louvre-de-lhomme-de-vitruve-de-leonard-de>

[Figure 127] <https://www.revesdemarins.com/blog/le-mystere-de-pythagore>

[Figure 129] <https://www.action-ergo.fr/b-programmation-&-conception-implantation.html>

[Figure 130] <https://www.action-ergo.fr/b-programmation-&-conception-implantation.html>

[Figure 131] <https://www.action-ergo.fr/b-programmation-&-conception-implantation.html>

[Figure 134] <https://www.paperblog.fr/5962649/architectes-et-designers-le-reve-futuriste-d-oscar-niemeyer-le-poete-des-courbes/>

[Figure 135] <https://www.maisonapart.com/edito/autour-de-l-habitat/architecture-patrimoine/le-centre-pompidou-fete-son-architecte---richard-r-912.php>

[Figure 136] <https://www.maisonapart.com/edito/autour-de-l-habitat/architecture-patrimoine/le-centre-pompidou-fete-son-architecte---richard-r-912.php>

[Figure 137] <https://mymodernmet.com/santiago-calatrava-buildings/>

[Figure 138] <https://mymodernmet.com/santiago-calatrava-buildings/>

Bibliographie

Alexander, C. 1966, *Notes on the Synthesis of Form*, Harvard University Press, Cambridge.

Alihodzic, R., Murgul, V et Vatin, N. 2014, relation between function and architectural form in the observers Perception, *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 680, 494-498.

Beneddouch, A., 1998, *Le processus d'élaboration d'un projet d'architecture*, Paris ; Montréal : L'Harmattan, 327p.

Bellemare, M., Montreuil, S., Trudel, L., Marier, M., Godin, M-J., Ledoux, E., Laberge, M et Vincent, P. 2004, Contribuer à un projet d'aménagement par l'analyse ergonomique du travail : le cas d'une bibliothèque publique, *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé* [Online], 6-2. URL: <http://journals.openedition.org/pistes/3266>; DOI: <https://doi.org/10.4000/pistes.3266>

Boudon, Ph. 1999, «Échelle» en architecture et au-delà. Mesurer l'espace ; dépasser le modèle géométrique, *Les Annales de la Recherche Urbaine : Les échelles de la ville*, Vol. 82 , 5-13.

Brunetti, G-L. 2014, *Six Works for Six Architects. Explorations around Invisible Links*. <file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/sixworksforsixarchitects-gianlucabrunetti.pdf>.

Bussagli, M. 2005, *Qu'est ce que l'architecture- une histoire de l'architecture*. Gründ, Paris.

Cegielska, N. 2019, *La notion d'échelle en architecture : zoom sur la question dans la formation du technicien en génie civil*, Lycée Josy Barthel Mamer.

Cerisier, J-F., 1999, Environnements d'apprentissages collectifs en réseaux, Poitiers, Paris 8, groupe de recherche sur l'apprentissage et les médias en éducation.

Ching, Francis D-K. 2019 (2015), *Architecture, forme, espace, organisation*, Éditions Eyrolles, Paris.

Christian, M. 2012, *Maîtrise d'ouvrage, construire un vrai dialogue, la contribution de l'ergonomie à la conduite de projet architectural*, Octarès Editions, Toulouse, France.

Conan, M., 1990, *Concevoir un projet d'architecture*, Éditions l'harmattan, Paris.

Côté, P., Goulette, J-P et Marques, S. 2009, Programmation architecturale et architecture virtuelle. *Intermédiatités / Intermediality*, Vol.13, 77-88. <https://doi.org/10.7202/044041ar>

Dares, F et Falzon, P., (dir.), 1996, La conception collective : une approche de l'ergonomie cognitive, Dans G. de Terssac et E. Freidberg, *Coopération et conception*. Éditions Octarès.

De Beauvais, C-A. 1995, Définition et rôle du programme (Programmes d'architecture),

<https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-droit-et-organisation-generale-de-la-construction-tiacb/archive-1/programmes-d-architecture-c4005/definition-et-role-du-programme-c4005niv10001.html>

De Smet, I., Gluck, D., Van Holm, T., Verspeelt, F., Henin, H et Vanluchene, F. 2020, L'organigramme, cours [En ligne], Faculté d'Architecture et d'urbanisme, université de Mons, Belgique.
https://moodle.umons.ac.be/pluginfile.php/408253/mod_resource/content/1/Lorganigramme.pdf

Djafi, F., 2005, *L'apport du réalisme visuel à la représentation de l'image de synthèse dans un contexte de conception architecturale assistée par ordinateur (CAAO)*, mémoire de maîtrise en sciences de l'architecture, Université Laval, Québec.

Do, E Y-L et Gross, M-D; 2001, Thinking with diagrams in architectural design, *Artificial Intelligence Review*, Vol.15, 135-149.

Ellipses, *Le nombre d'or et divine proportion*, chapitre [en ligne], https://www.editions-ellipses.fr/PDF/9782340011731_extrait.pdf.

Emmons, P.1998, The Cosmogony of Bubble Diagrams, *867 ACSA ANNUAL MEETING AND TECHNOLOGY CONFERENCE*, 420-425.

Falzon, P., Bisseret, A., Bonnardel, N., Darses, F., Détienne, F et Visser, W., 1990, *Les activités de conception: L'approche de l'ergonomie cognitive*, colloque « Recherche sur le Design », Compiègne.

Guiheux, A. 1985, *L'ordre de la brique*, Pierre Mardaga, Bruxelles.

Guillerme, J. Boudon, P. Proportion, récupéré sur *Encyclopedie Universalis France*, <https://www.universalis.fr/encyclopedie/proportion/>

Hammou, A., 2016, *A propos de la conception architecturale*, office des publications universitaires, Alger.

Hershberger, R. 1999 (2017), *Architectural Programming and Predesign Manager*, Routledge, New York

Hugues, H. *Art, architecture, proportion, esthétique*
https://www.academia.edu/45171528/ART_ARCHITECTURE_PROPORTION_MATHEMATICAL_AESTHETICS_by_Hugues_HENRI

Kassoul, A. 2016, *Cours : Bâtiment 2, S6 Licence Génie Civil – Option : Construction Bâtiment*, UHB Chlef, Algérie.

Laaroussi, A., 2007, *Assister la conduite de la conception en architecture: vers un système d'information orienté pilotage des processus*, Thèse de doctorat, l'Institut National Polytechnique de Lorraine.

Lebahar, J-C., 1983, *Le dessin d'architecte : simulation graphique et réduction d'incertitude*, Éditions Parenthèses, Roquevaire.

Lebahar, JC. 2006, Pratique professionnelle et enseignement de la technique d'organigramme en architecture : problèmes de transposition didactique, *Didaskalia* , Vol.29, 9-40.

Ledoux, E., 2000, *Projets architecturaux dans le secteur sanitaire et social. Du bâtiment au projet : la contribution des ergonomes à l'instruction des choix*. Collection thèse et mémoires, Laboratoire d'ergonomie des systèmes complexes, Bordeaux : Université Victor Segalen Bordeaux 2, 349 p.

Macdonad, AJ. 2001(1994), *Structure and architecture*, architectural press, Oxford.

Martin, C. 1998, *La conception architecturale entre volonté politique et faisabilité technique, le positionnement de l'intervention ergonomique*. Collection Thèses et Mémoires, Laboratoire d'ergonomie des systèmes complexes, Université Victor Segalen Bordeaux 2, 551 p.

Mazouz, S. 2014, *Éléments e conception architecturale*, Office des publications universitaires, Alger

Muttoni, A. 2015 (2004), *l'art des structures, une introduction au fonctionnement des structures en architecture*, Presses Polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.

Ollivier, P-Y. 2017, *La conception des structures, matériaux, dimensionnement et aspects constructifs*, Dunod, France.

Palladio, A. 1570, *Villa Almerico (Villa Rotunda), from I quattro libri dell'architettura di Andrea Palladio* (Book 2 : 19), [En ligne] <https://www.metmuseum.org/art/collection/search/698054>

Rimbo, E. 2013, *Chapter 3: Form & Space - Architectural Design and Theory 1: form, space and order*, Limkokwing University of Creatice Technologie, Cambodia, [En ligne] <https://www.yumpu.com/user/rinbo.files.wordpress.com>

Prost, R., 1992, *Conception architecturale: une investigation méthodologique*, L'Harmattan, Paris.

Roth, L M et Roth Clark, AC. 2018, *Understanding Architecture : Its Elements, History, and Meaning*, Routledge, New York.

Rowe, P. 1987, *Design Thinking*, MIT Press, Cambridge.

Stipancic- Klaic, I et Matotek, J. 2010, the golden ratio, *14th International Conference on Geometry and Graphics*, August 5-9, Kyoto.

Bibliographie

Thibault, E. 2012, Motifs utilitaires et autonomie artistique: La forme architecturale et ses fonctions. *Revue de Synthèse*, Vol.133 (4), 477-494.

Tichkiewitch, S., Tiger, H et Jeantet, A., 1993, *Ingénierie simultanée dans la conception de produits*, université d'été du pôle productique Rhône Alpes, Aussois.

Tric, O., 1999, *Conception et projet en architecture: articulation des composantes enveloppe, structure, usage et coût dans la conception et au sein du système d'acteurs*, L'Harmattan, Paris, 313p.

Page | 129

Von Meiss, P. 2012 [1986], *de la forme au lieu + de la tectonique : une introduction l'étude de l'architecture*, presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.

Von Naredi-Rainer, P. 1982, *Architektur and harmonie*, Du mont Buchverlag, Köln.

Zetlaoui-Léger, J. 2009, La programmation architecturale et urbaine. Émergence et évolutions d'une fonction, *Les Cahiers de la recherche architecturale et urbaine* [Online], Vol. 24/25, URL: <http://journals.openedition.org/crau/312>; DOI: <https://doi.org/10.4000/crau.312>