

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Centre Universitaire de Souk-Ahras

Institut des Sciences et de Technologie

Magister en Génie Civil-Souk Ahras-

Mémoire

Présenté pour obtenir le diplôme de

Magistère en Génie Civil

Option C.C.I

Construction Civile et Industrielle

Titre

**L'apport de l'élément préfabriqué
dans la façade intelligente**

Présenté par

HADDOUCHE Karima

Devant le jury suivant

-Dr DJEBBAR Yassine	U.Souk Ahras	Président
-Dr BOUACHA Najette	U.Souk Ahras	Examineur
-Pr ROUAG Djamila	U.Constantine	Examineur
-Dr KEBAB Ahmed	U.Souk Ahras	Examineur
-Dr MAHIMOUD Aissa	U.Constantine	Examineur
-Dr. GUETTECHE M ^{ed} Nacer	U.Constantine	Directeur de recherche

REMERCIEMENTS

*Avant tout, nous remercions **ALLAH**, sans lui ce travail n'aurait pu exister.*

*Tout d'abord, nous souhaitons remercier Monsieur **Djebbar Yacine** pour avoir bien voulu nous faire l'honneur de présider le jury.*

*Nous tenons à témoigner toute notre gratitude à Monsieur **Guetteche M^{ed} Nacer** qui a dirigé ce travail. L'acuité de ces remarques et la clarté de ses explications ont constitué un apport précieux à la réalisation de ce travail.*

*Nous remercions vivement, Madame **Rouag Saffidine Djamila**, un grand respect lui est dédié, ainsi que Madame **Bouacha Najette** et Monsieur **Kebbab Ahmed** qui ont accepté de faire partie du jury et qui nous ont fait l'honneur de critiquer ce travail scientifique.*

Karima HADDOUCHE

Sommaire :

➤ Remercîments.....	1
➤ Sommaire.....	2
➤ Résumé Français.....	7
-Anglais.....	8
-Arabe.....	9
➤ Liste des figures.....	10
➤ Liste des tableaux.....	13
➤ Introduction générale.....	14
➤ Problématique.....	16
➤ Hypothèse.....	17

Partie-I- La préfabrication : Notion générales et systèmes de Construction.

Chapitre-I-

I. Introduction.

1. Définition et bref historique :	20
-Situation en Algérie :	21
2. Définition de l'industrialisation du bâtiment :	21
3. L'architecture industrialisée :	22
4. Innovations technologiques dans la construction :	26
5. Formes de préfabrication :	27
5.1. La préfabrication légère :	27
-La maison individuelle légère :	28
-Quelques exemples d'industrialisation :	28
5.2. La préfabrication lourde classique :	29
6. L'influence de l'industrialisation sur la forme architecturale :	30
7. Avantages et Inconvénients de la préfabrication.....	32
Conclusion :	33

Chapitre -II- Systèmes de construction.

I. Introduction.....35

1. Généralités, principes et objectifs :	35
2. Typologies des structures :	36
2.1. Construction à portique :	36

2.2. Construction à ossature :	38
2.3. Système à mur préfabriqué et voile :	41
2.4. Les planchers préfabriqués :	42
2.5. Les poteaux préfabriqués :	44
2.6. Les sous-ensembles « escalier » :	45
2.7. Les cloisons préfabriquées :	46
Conclusion.....	47

Partie-II- Les façades Enjeux et Typologie

Chapitre-I- Généralités et concept.

1. <u>Les notions de mur et de façade :</u>	50
2. <u>Structure du mur de façade :</u>	52
<i>A. Les formes et les rapports entre les ouvertures de la façade</i>	53
<i>B. L'expression de la fenêtre et de la porte.</i>	53
3. <u>Les enjeux :</u>	55
4. <u>Les éléments rattachés :</u>	59
<i>A. L'isolation intérieure:</i>	62
<u>-Systèmes techniques les plus fréquemment rencontrés :</u>	62
<i>B. L'isolation extérieure :</i>	63
<u>-Systèmes techniques les plus fréquemment rencontrés :</u>	63
<i>. L'isolation répartie:</i>	63
<u>-Systèmes techniques les plus fréquemment rencontrés :</u>	64
<u>-Utilisation :</u>	64
<i>A. Définitions :</i>	64
<i>B. Les matériaux.</i>	65
<i>C. Les principaux systèmes d'ouverture:</i>	66
<i>D. Les vitrages :</i>	67
<i>E. Quelques cas particuliers :</i>	67
<u>-La fenêtre rénovation :</u>	67
<u>-La fenêtre dynamique :</u>	68

Chapitre II- Les façades légères.

1 Définition de la façade légère :	71
2 La classification des façades légères :	72

<i>A-Introduction :</i>	73
<i>B-Qu'est-ce qu'un mur-rideau?</i>	73
<i>C-Principes de conception d'un mur extérieur</i>	74
<i>D-Les façades rideaux à ossature « grille » :</i>	76
<i>E-Les façades rideaux à ossature « cadre » :</i>	77
<i>F-Les jonctions possibles :</i>	78
- <i>La jonction aux angles</i>	78
- <i>La jonction au niveau du sol</i>	79
- <i>Jonction avec la maçonnerie</i>	80
- <i>Jonction avec des panneaux préfabriqués</i>	80
<i>G-Avantages techniques et économiques recherchés :</i>	82
<i>A-Définition :</i>	86
<i>B-Composition de la paroi :</i>	87
<i>A-Verre Extérieur Agrafé ou Attaché ou "VEA"</i>	88
<i>B-Verre Extérieur collé ou "VEC" :</i>	89
<i>C-Verre Extérieur Parclosé :</i>	90
3. <i>Les éléments de remplissage :</i>	90
4. <i>Avantages et inconvénients :</i>	91
5. <i>Conclusion :</i>	92

Chapitre III :La façade intelligente :

1. <i>Généralités :</i>	94
2. <i>La façade intelligente (active) :</i>	97
2.3.1. <i>La façade double peau :</i>	98
A- <i>Bref historique :</i>	98
B- <i>Qu'est-ce qu'une façade active de type double-peau ?</i>	100
C- <i>Les échanges thermiques d'une façade double peau :</i>	103
D- <i>Façade étanche.</i>	104
E- <i>Façade assurant la ventilation des locaux.</i>	105
- <i>Espacement du canal.</i>	105
- <i>Partitionnement du canal.</i>	106
F- <i>Protections solaires.</i>	107
2.3.2. <i>La façade ventilée :</i>	109
A- <i>Définition :</i>	109

B-Objectif des doubles façades ventilées :	109
C-Classification des doubles façades ventilées :	109
<i>2.3.3. La façade active en lamelle de bois :</i>	<i>112</i>
A- Le principe :	112
B- Les éléments de la construction	112
C- La construction du mur :	113
D- La fonction	113
E- A quoi correspond le concept d'une construction avec une façade solaire : ..	114
F- L'écologie	114
G- L'entretien	117
<i>2.3.4. Une façade intelligente grâce à des brise-soleil automatisés :</i>	<i>118</i>
A- Description :	118
B- Changement de comportement en quelques secondes	119
C- Une orientation automatisée en fonction de la position du soleil	119
D- Diminution, voire suppression des besoins de chauffage	120
Conclusion.....	120

Partie III : Cas d'étude

Chapitre I : Le transfert de chaleur, Rappels et généralités.

1.Le bâtiment est un gros consommateur d'énergie :	123
2.Applications de l'énergétique du bâtiment	123
3.Rappels de physique du bâtiment.....	124
3.1. La température :	124
3.2. Le pont thermique :	124
3.3. Capacité thermique.....	124
3.4. Modes de transfert de chaleur	124
4.Les déperditions par transmission :	127
4.1.Déperditions par les parois opaques.....	127
4.2. Déperditions par les parois vitrées.....	129

Chapitre II : Exemple d'application :

1.Introduction :	133
2. Présentation du lieu d'étude :	133
2.1 Situation géographique :	133
2.2. Le climat :	134
3. Moyens utilisés :	134

4. Description du cas d'étude :	134
5. Calcul du flux de chaleur à travers une vitre simple et une autre double :.....	139
-Les données :	139
-Calcul pour un simple vitrage :	139
-En période estivale :	140
-En période hivernale :	140
-En période estivale :	140
-En période hivernale :	141
-Calcul du flux de chaleur à travers un double vitrage : 6-12-6mm :	143
7. Pourcentage de réduction :	147
8. Comportement en saison froide – Confort thermique :	147
9. Protection solaire estivale – Confort d'été :	148
Conclusion.....	148
Conclusion générale	149
Bibliographie	152
Annexe.....	162



RESUME

Ce mémoire porte sur une analyse des différentes notions de préfabrication et les systèmes constructifs destinés à plusieurs usages et plus particulièrement sur l'apport des éléments préfabriqués dans la constitution d'une façade avec des caractéristiques écologiques et économiques en énergie, celle dite "Intelligente". La recherche permet de comprendre les caractéristiques principales de la façade des points de vue constructif, formel et spatial et de démontrer l'intérêt d'avoir des façades active, écologique et qui respect l'environnement.

Dans la première partie, notre travail consistait à dresser une idée générale sur le monde de l'industrie et des différents systèmes constructifs préfabriqués.

En second lieu, toute une partie est concentrée sur une étude profonde sur le concept de "mur" et de "façade" ainsi qu'une analyse sur l'organisation spatiale et constructive des façades, leurs enjeux et leur typologie. L'accent est mis d'avantage sur l'étude des différents types de façade intelligente du point de vue constructif et consommation énergétique.

Finalement et afin de démontrer les déperditions thermiques et énergétiques causée par l'enveloppe des bâtiments, une petite analyse avec des calculs simples sur le transfert de chaleur est faite sur un bloc administratif (le rectorat) de l'université de Souk Ahras, ce dernier vêtu d'un mur rideau, offre une possibilité de faire une comparaison, coté consommations et gains énergétiques entre un mur rideau à simple vitrage et un autre à double vitrage.

Les résultats présentes dans la dernière partie de ce mémoire, démontre que l'utilisation rationnelle d'un mur rideau avec des techniques modernes est une alternative intéressante en raison des exigences environnementales associé à la réduction de la consommation d'énergie et, peut-être, utiliser efficacement des façades innovantes à fin d'assurer un climat intérieur confortable, une protection sonore et éclairage de qualité, une transparence fascinante et une esthétique remarquable, tout en diminuant la demande énergétique des équipements auxiliaires.

Mots-Clés: préfabrication-industrie-systèmes constructifs- façade- façade active-façade intelligente -déperditions énergétiques.

ABSTRACT

This report concerns an analysis of the various notions of prefabrication and the constructive systems intended for several manners and more particularly on the contribution of elements prefabricated in the constitution of a facade with ecological and economic characteristics in energy, that said "Intelligent".

The search(research) allows to understand(include) the main characteristics of the facade of the constructive, formal and spatial points of view and to demonstrate the interest of credit note of the active, ecological facades and which respect the environment.

In the first part (party), our work consisted in raising(drawing up) a general idea on the world of the industry and the various prefabricated constructive systems.

Secondly, a whole part is concentrated on a deep study on the concept of "wall" and "facade" as well as an analysis on the spatial and constructive organization of facades, their stakes and their typology. The accent is put by advantage on the study of the various types of intelligent facade of the constructive point of view and the energy consumption.

Finally and has the end to demonstrate the thermal and energy decreases caused by the envelope of buildings(ships), a small analysis with simple calculations on the transfer of heat is made on an administrative block (the vice-chancellorship) of the university of Souk Ahras, this last one dressed in a wall curtain, offers a possibility of making a comparison, quoted(esteemed) consumptions and energy earnings(gains) between a wall curtain with simple glazing and the other one double-glazed.

The results present in the last part of this report, demonstrate that the rational use of a wall curtain with modern techniques is an interesting alternative because of the environmental requirements associated with the reduction of the energy consumption and, can be, use effectively innovative facades at the end to assure(insure) a comfortable internal climate, a sound protection and a quality lighting, a fascinating transparency and a remarkable aesthetics, while decreasing the energy demand(request) of the auxiliary equipments.

Keywords: Prefabrication- Industry- Constructive systems-Facade- Active facade- Intelligent facade- Energy decreases.

ملخص

الأطروحة تركز على تحليل للمفاهيم المسبقة الصنع وأنظمة البناء لأغراض عدة ، ولا سيما على توفير العناصر الجاهزة في بناء واجهة مع الطاقة البيئية والاقتصادية ، ما يسمى ب "الواجهة الذكية" .
بحث يساعد على فهم السمات الرئيسية من واجهة من وجهات النظر البناء ، الرسمي والفضائي ، وتدل على قيمة وجود واجهات النشاط ، والامتثال الايكولوجية والبيئية.

في جزء منه، و عملنا على تطوير فكرة عامة عن عالم الصناعة ومختلف أنظمة المباني سابقة التجهيز.
الثانية ، وتركز على الطرف على دراسة عميقة حول مفهوم "الجدار" ، و "الواجهة" وكذلك على تحليل التنظيم المكاني واجهات البناء ، والتحديات ونموذجها. وينصب التركيز أكثر على دراسة أنواع مختلفة من عرض الواجهة الذكية والطاقة البناءة.

وأخيرا ووضع حد للمزيد من فقدان الحرارة والطاقة الناجمة عن بناء مغلف ، تحليلا قليلا مع العمليات الحسابية البسيطة على نقل الحرارة ويتم ذلك على كتلة الإداري (رئيس الجامعة) من جامعة ولاية سوق أهراس هذا آخر يرتدي الحائط الساتر ، ويوفر إمكانية للمقارنة بين الجانب والاستهلاك وتوفير الطاقة بين الجدران الستار المفرد المزجج وآخر الزجاج المزدوج.

النتائج المعروضة في القسم الأخير من ورقة تشير إلى أن الاستخدام الرشيد للحائط الساتر مع التقنيات الحديثة هو بديل للاهتمام بسبب المخاوف البيئية المرتبطة الحد من استهلاك الطاقة ، وربما الاستخدام الفعال للنهاية واجهات مبتكرة لضمان وجود مناخ مريح في الأماكن المغلقة والإضاءة والحماية السليمة للجودة ، والشفافية والجمالية الرائعة ضرب ، في حين أن الحد من الطلب على الطاقة من المعدات المساعدة.

الكلمات المستعملة:

سابقة الصنع -الصناعة - أنظمة البناء - الواجهة- الواجهة الفعالة- الواجهة الذكية-الاستهلاك الطاقوي.

Liste des figures

Partie I :

Photo I.1: Maison préfabriquées en Écosse et exportées en Australie Corio villa, Geelong, 1856	23
Photo I.2: Corio villa, Geelong, 1856	24
Photo I.3: Cottage, Melbourne, 1853	24
Photo I.4: Montage d'une maison à portique axial, Maxéville, 1945	25
Photo I.5: Système de béquille unique, Buvette de la source Cachat, Evian, 1956	25
Photo I.6: Maison du Peuple à Clichy	26
Photo I.7: Spacebox Holland Composites Industrials.	29
Photo I.8: Type d'Industrialisation lourde (poutre en béton)	30
Photo I. 9: maison préfabriquée. (Suzel Balez et Vincent Rigassi, 2007-2008)	37
Figure I. 10: système à portiques. www.explorations-architecturales.com	37
Photo I.11 : construction à portique métallique.	37
Photo I.12 : construction à portique en béton	37
Figure I.13: Perspective intérieure d'une ossature bois	38
Photo I.14 et Photo I.15: Exemple de Structure primaire de l'ossature bois.	39
Photo I.16: Pied de poteau en acier galvanisé	39
Photo I.17: Exemple d'assemblage des poutres primaires sur les poteaux en bois	39
Figure I.18: Liaison poteau fondation.	40
Figure I.19: Liaison poteau poutre	41
Photo I.20 : Exemple d'un mur préfabriqué en bois	41
Photo I.21 : voile en panneaux préfabriqués	42
Photo I.22 : Exemple d'un mur de façade en béton préfabriqué.	42
Photo I.23 : Plancher alvéolé en béton armé.	42
Photo I.24 : Exemple de plancher nervuré double T	43
Photo I.25 : Exemple de plancher à prédalles	44
Photo I.26: Coffrage métallique pour poteau.	44
Photo I.27: Les sous ensemble « escaliers »	45
Photo I.28: Escalier tournant standardisé	45
Photo I.29: -Coffrage pour escalier droit.	46

Partie II :

Photo II. 1: Expression d'un mur en pierre. Village Ath Yaala en Kabylie.	51
Photo II. 2 : La façade urbaine. Vue générale de la baie d'Alger.	52
Photo II. 3 : Exemple d'un mur en brique d'une maison kabyle au village Ath yaala.	53
Figure II. 4 : Exemple de formes de fenêtres.	53
Figure II. 5 : Les caractéristiques de l'organisation spatiale:	54
Figure II. 6 : Principe d'un doublage extérieur en brique.	59
Figure II. 7 : Mur à ossature en bois, Bardage bois horizontal.	60
Figure II. 8 : Principe de pierre agrafée	61
Figure II. 9 : Exemple d'un parement.	61
Figure II. 10: Système de doublage.	62
Figure II. 11: Coupes de principe	62
Figure II. 12 : exemple de brique monomur	64

Figure II. 13 : Schéma de principe de la fenêtre dynamique.	68
Figure II. 14: Exemple d'un mur rideau	71
Photo II. 15 : Mur rideau	73
Figure II.16: Pare vent pour un mur rideau	75
Photo II.17 : URBAL SAHRAOUI : Projet LES CASCADES - El Achour - Alger	76
Photo II.18 : GROUPE IMMOBILIER RAVIN DE LA FEMME SAUVAGE - Alger	77
Figure II.19 : Mur rideau à ossature cadre.	77
Figure II.20: jonction aux angles	78
Figure II.21 : jonction au niveau du sol	79
Figure II.22 : jonction avec la maçonnerie	80
Figure II.23 : jonction avec panneaux préfabriqués	81
Photo II.24. Mur semi-rideau avec parement en glace L'Atrium Part-Dieu de R+6	82
Figure II.25 : Façade semi rideau intégrale.	83
Figure II.26: Façade semi rideau filant verticalement.	83
Photo II.27 : Exemple de façade en panneau	84
Photo II.28 : Montage d'une façade en panneaux	85
Photo II.29 : Le bardage.	85
Figure II.30 : La vêtture.	86
Figure II.31: Schéma de principe	87
Photo II.32 : Exemple d'un mur en verre structurel	87
Photo II.33 : Verre Extérieur Agrafé	88
Figure II.34 : Principe du VEC	88
Photo II.35 : Exemple du Verre Extérieur Parclosé	89
Figure II.36 : Schéma d'un mur capteur.	96
Figure II.37 : Fonctionnement d'un mur capteur "Trombe-Michel" en été	97
Figure II.38 : Schéma technique	101
Figure II.39: Schéma d'une double-peau.	102
Figure II.40 : Schéma des types de circulation.	104
Figure II.41: Représentation du niveau neutre.	105
Photo II.42: Entrée d'air d'un canal	106
Photo II.43: Exemple d'atrium	107
Photo II.44: Canal non partitionné	108
Photo II.45: Store à lamelles horizontales.	109
Photo II.46 : Façade active en lamelle de bois	112
Figure II.47: Comportement de la paroi en hiver.	116
Figure II.48: Comportement de la paroi en été.	116
Photo II.49: Exemples de construction avec des façades solaires	117
Photo II.50: Une façade intelligente grâce à des brise-soleil automatisés	118
Photo II.51: Description de la façade intelligente.	118
Figure II.52: Principe de fonctionnement	120
Partie III :	
Figure III.1 : Ponts thermiques	124
Figure III.2 : La convection	125
Figure III.3 : Le rayonnement.	126
Figure III.4 : Comparaison entre l'épaisseur du béton armé et laine minérale.	127

Figure III.5 : Densité de flux de chaleur à travers une paroi homogène.	128
Figure III.6 : Valeur K d'un mur isolé et un autre non isolé.	129
Figure III.7 : Coefficient K des différents types de vitrages.	130
Figure III.8 : Moyen pour réduire la transmission thermique.	131
Figure III.9: carte géographique de la wilaya de souk ahras.	133
Photo III.10 : Plan de situation de l'université de souk ahras.	136
Photo III.11 : Vue aérienne de l'université de souk ahras.	137
Photo III.12: Université de Souk Ahras.	137
Photo III.13: Façade étudiée de l'université de Souk Ahras.	138
Photo III.14: Vue latérale de la façade étudiée.	138
Figure III.15: Principe de convection pour un simple vitrage.	139
Figure III.16: Représentation de la direction de la chaleur pour un simple vitrage en été.	141
Figure III.17: Profil de température en été.	142
Figure III.18: Représentation de la direction de la chaleur pour un simple vitrage en hiver.	142
Figure III.19: Profil de température en hiver.	143
Figure III.20: Représentation d'un double vitrage.	143
Figure III.21: Représentation de la direction de la chaleur pour un simple vitrage en été.	144
Figure III.22: Profil de température en été.	145
Figure III.23: Représentation de la direction de la chaleur pour un simple vitrage en hiver.	146
Figure III.24: Profil de température en hiver.	147

Liste des tableaux

Partie II :

Chapitre I :

Tableau 1 : Avantages et inconvénients de l'isolation extérieur.....63

Tableau 2 : Avantages et inconvénients du bloc isolant.....64

Tableau 3 : Avantages et inconvénients de la disposition de la menuiserie extérieure..65

Tableau 4: Avantages et inconvénients de la menuiserie extérieure selon les matériaux.....66

Tableau 5: Principaux systèmes d'ouverture.....67

Partie III :

Chapitre I :

Tableau 1 : Conductivité thermique de certains matériaux.....125

Tableau 2 : Grandeurs des coefficients de transfert convectifs h.....126

Chapitre II :

Tableau 1 : Données climatique de Souk Ahras.....134



INTRODUCTION GENERALE

Le discours sur l'enveloppe des bâtiments est relativement récent. En effet, les traités anciens parlent de « murs du façade », de « toitures », ou de « percement », mais ils ne les abordent pas systématiquement en tant que parties d'un ensemble d'ouvrages formant une enveloppe. Ce n'est qu'au XIXe siècle que le concept d'enveloppe est développé et introduit dans la théorie architecturale. L'acception couramment retenue aujourd'hui en fait une sorte de « peau » séparent l'extérieur, considéré comme hostile, de l'intérieur du bâtiment, et devant contribuer à rendre l'intérieur confortable.

Plusieurs raisons ont contribué au développement du concept d'enveloppe parmi eux :

- La rationalisation des méthodes de construction, qui a accompagné la première révolution industrielle et permis, par exemple, la diminution de l'épaisseur des murs de façade et l'apparition de nouveaux matériaux, comme la brique creuse et la pierre artificielle ;
- L'organisation efficace du travail et du commerce de masse sur de nouveaux sites de production, d'administration et de vente, qui a encouragé l'augmentation des surfaces vitrées, souvent en liaison avec de grandes structures en ossature fine de fer, d'acier, puis de béton ;
- Une nouvelle culture du confort (ou de l'hygiène pour ce qui concerne le logement populaire) avec d'équipement de chauffage, de ventilation, d'éclairage et d'assainissement

Il en ressort que l'enveloppe doit être abordée en rapport avec le type du bâtiment d'une part, avec l'environnement dans lequel il se trouve d'autre part. La notion de type de bâtiment implique une organisation spatiale et des moyens matériels (engagés pour la construction) correspondant à des usages particuliers et bien établis dans la société. La variété des projets architecturaux ne modifie pas la prégnance des types, mais de nouveaux types apparaissent sous la pression de l'évolution des modes de vie, des usages et des techniques.

L'environnement du bâtiment doit être entendu dans un sens très large, incluant le climat (lumière, soleil, température, humidité, vent, pluie, neige, gelées, qualité de l'air, etc.), le sol et le sous-sol, ainsi que l'univers aménagé et construit avec infrastructures, ses paysages visuels, sonores et olfactifs, l'impact de notre civilisation étant si fort qu'il devient presque impossible de distinguer l'artificiel du supposé « naturel ».

Ce mémoire porte sur une analyse des différentes notions de préfabrication et les systèmes constructifs destinés à plusieurs usages et plus particulièrement sur l'apport des éléments préfabriqués dans la constitution d'une façade avec des caractéristiques écologiques et économiques en énergie, celle dite "Intelligente". La recherche permet de comprendre les caractéristiques principales de la façade des points de vue constructif, formel et spatial et de démontrer l'intérêt d'avoir des façades active, écologique et qui respect l'environnement.

Dans la première partie, notre travail consistait à dresser une idée générale sur le monde de l'industrie et des différents systèmes constructifs préfabriqués.

En second lieu, toute une partie est concentrée sur une étude profonde sur le concept de "mur" et de "façade" ainsi qu'une analyse sur l'organisation spatiale et constructive des façades, leurs enjeux et leur typologie.

L'accent est mis d'avantage sur l'étude des différents types de façade intelligente du point de vue constructif et consommation énergétique.

Enfin et afin de démontrer les déperditions thermiques et énergétiques causée par l'enveloppe des bâtiments, une petite analyse avec des calculs simples sur le transfert de chaleur est faite sur un bloc administratif (le rectorat) de l'université de Souk Ahras, ce dernier vêtu d'un mur rideau, offre une possibilité de faire une comparaison, coté consommations et gains énergétiques entre un mur rideau à simple vitrage et un autre à double vitrage.

Les résultats présentes dans la dernière partie de ce mémoire, démontre que l'utilisation rationnelle d'un mur rideau avec des techniques modernes est une alternative intéressante en raison des exigences environnementales associé à la réduction de la consommation d'énergie et, peut-être, utiliser efficacement des façades innovantes à fin d'assurer un climat intérieur confortable, une protection sonore et éclairage de qualité, une transparence fascinante et une esthétique remarquable, tout en diminuant la demande énergétique des équipements auxiliaires.

PROBLEMATIQUE

Depuis toujours, l'homme érige des limites verticales et horizontales pour se protéger des agressions extérieures, agressions naturelles, animales ou humaines. En construisant ses murs, son toit, il se protège du vent, des intempéries, du froid et de la chaleur, mais il définit également sa sphère privée, son espace intime. En tant qu'interface entre intérieur et extérieur, appartenant autant au bâtiment qu'à la ville, l'enveloppe du bâtiment revêt une importance toute particulière. Agissant comme filtre des éléments naturels, des informations humaines, on peut la considérer comme un lieu à part entière, qu'il faudrait traiter d'une manière tout à fait spécifique.

Cette spécificité se pose d'autant plus du fait de la dissociation amorcée depuis le XIXe siècle entre structure et enveloppe. Par ailleurs, au système complexe élémentaire «fonction-construction-forme » vient aujourd'hui s'ajouter le critère écologique et énergétique. Ces dernières données sont les arguments pour considérer l'enveloppe comme un sujet à part entière dans le domaine de l'architecture. Cette dissociation totale pose le risque de faire tomber dans le piège d'une façade-emballage dont l'aspect résumerait l'architecture, au mépris de l'espace créé. Pourtant, l'émergence de l'idée de la façade comme peau intelligente et réactive s'inscrit dans une démarche rigoureuse de conception du bâtiment dans un rapport équilibré, optimisé avec l'environnement et l'énergie. Cette nouvelle étape manifeste est l'occasion de redéfinir l'histoire de l'enveloppe en architecture.

Le rôle que joue la façade dans un bâtiment que ce soit esthétique ou bien structurant, sa constitution et composition en maçonnerie traditionnelle ou en éléments préfabriqués nous laisse les portes ouvertes pour des questionnements au sujet écologique et thermique que pourrai avoir la façade à travers les transferts de chaleur qui se produisent à son niveau.

Certaines études traitées au pare avant à propos des gains énergétiques de l'enveloppe nous laisse suspicieux compte à ce sujet et nous mènent a des interrogations auxquels nous allons d'y répondre au cours de notre recherche.

Parmi ses questions :

- Quel rôle joue une enveloppe dans un bâtiment ?
- L'enveloppe à élément préfabriqué est-elle source de déséquilibre thermique dans le bâtiment ?
- Attends besoin d'une façade à caractère énergétique pour résoudre les problèmes écologiques dus aux pertes thermiques dans le bâtiment à fin de le rendre équilibré et qui préserve le confort des occupants ?

Hypothèse

Les façades sont cruciales à la consommation d'énergie et le confort dans les constructions. L'incorporation de l'intelligence dans leur conceptions est une façon effective de réaliser des constructions à basse énergie. Cependant, la planification prudente doit être impliquée pour atteindre des économies satisfaisantes et l'acceptation d'utilisateur. C'est dans cette perspective que s'inscrit le projet de façade active dite « Intelligente ». Cette façade en éléments usines déjà préfabriqués, permet de diminuer considérablement les consommations énergétiques tout en préservant le confort des habitants.

Ainsi, la volonté de développer des façades à caractère énergétique conduit à la recherche des performances de ce type de façade et à la volonté de mettre en place une gestion optimale qui va permettre une diminution des coûts due aux pertes énergétiques dans le secteur du bâtiment.

Afin de répondre aux questionnements émis dans la problématique, nous proposons ces quelques hypothèses, nous allons essayer d'y répondre au long de cette recherche :

- L'analyse de ce type de façade, passe d'abord par une bonne compréhension des éléments préfabriqués ainsi que des systèmes constructifs entrant dans la constitution d'une façade avec des caractéristiques économiques en énergie.
- Il est aussi nécessaire de bien comprendre les caractéristiques principales d'une façade du point de vue constructifs, formel et spatial et l'intérêt d'avoir des façades actives, écologique et qui respect l'environnement.
- il est important de mettre en place une analyse comparative entre deux façades, l'une à simple vitrage et l'autre dotée d'un double vitrage, à fin de démontrer les déperditions thermiques et énergétiques causés par l'enveloppe des bâtiments en période estivale et hivernale.

1^{ère} Partie

La préfabrication

**NOTIONS GÉNÉRALES ET SYSTÈMES DE
CONSTRUCTION**

Chapitre I
Notions Générales



-Introduction-

Le concept de préfabrication a d'ores et déjà été le moyen d'expression d'une variété d'utopies, idéaux et convictions, autant d'ordre purement architectural que de dimension sociale, voire politique. On s'intéressera particulièrement à la façon dont certains l'ont utilisé pour exprimer à travers une architecture nouvelle l'idée d'une société plus collectiviste; dont d'autres l'ont mis à parti pour glorifier la société de consommation (idéal du consumérisme) par le biais des techniques de l'industrie qui l'ont rendue possible; et on considérera avec intérêt les visions plus ou moins futuristes d'architectures organiques et/ou proliférâtes que quelques utopistes ont imaginé autour des potentialités de l'architecture usinée.

1. Définition et bref historique :

Préfabrication : « Se dit d'un élément ou d'un ensemble d'éléments standardisés, fabriqués à l'avance et destinés à être assemblés sur place. » (Dictionnaire universel ROBERT).

La préfabrication est un procédé de construction permettant de réaliser certaines pièces d'un ouvrage en usine, afin de n'avoir qu'à les assembler, une fois acheminées sur chantier. Cette technique de fabrication est largement utilisée dans le secteur de la construction et particulièrement dans les grands projets de génie civil tels que les ponts et les immeubles. Les éléments préfabriqués peuvent être réalisés en bois, en béton ou en acier. Quel que soit leur taille ou leur forme, ceux-ci sont réalisable en usine à l'aide de machines spécifiques (réalisation de moules, etc.).(Karim Miled,2012).

Si le concept de préfabrication existe depuis toujours à travers des manifestations aussi simples que la brique ou le moellon, il ne s'est vraiment développé qu'avec les moyens de l'industrie, particulièrement après la seconde guerre mondiale. La logique de la préfabrication revient à profiter de moyens d'usine supérieurs technologiquement et économiquement aux moyens du chantier. Depuis plus d'un siècle, des hommes convaincus que les nouvelles technologies offrent un potentiel à l'architecture ont réfléchi à des façons de les lui adapter. Les pionniers ont d'abord envisagé des systèmes d'éléments préfabriquées assemblables de différentes façons. C'était leur réponse à l'uniformité que ses détracteurs reprochent à l'architecture usinée. Pourtant force est de constater que si le préfabriqué peut effectivement sortir du carcan de l'uniformité, c'est moins par la diversité des modes d'assemblages des éléments d'une gamme que par la multitude des interprétations que les architectes peuvent faire du concept.(Levy Benjamin et Carado Cyril 2003-2004)

Le concept de préfabrication s'est d'autre part vu concrétiser via différents matériaux et techniques qui chacun au travers de leurs particularistes ont aussi participé à sa diversification. L'application des nouvelles technologies de l'industrie à l'architecture, l'architecture usinée, semble perpétuer la logique selon laquelle les constructeurs ont toujours bâti au meilleur des possibilités techniques de leur temps. Si leurs techniques évoluaient, les matériaux de la pierre, du bois et de la brique ont été des millénaires durant à

la base de la construction. De ce fait, leur valeur et la beauté de leurs formes consacrées sont particulièrement ancrées dans les esprits, et l'évolution vers de nouvelles formes pour de nouveaux matériaux ne sera admise que dans la longueur. Pourtant on se doit de respecter la contexture de l'architecture, c'est à dire la cohérence entre sa matière et sa forme, qui lorsqu'elle est bien comprise procure une émotion architecturale plus profonde que la forme seule. (Arnold Van Acker,2011).

-Situation en Algérie :

C'est surtout après l'indépendance (1962) que l'Algérie a eu recours à la préfabrication, car c'était le seul moyen pour résoudre le problème de l'habitat, il fallait loger les milliers d'algériens qui ont perdu leurs maisons pendant la guerre ou les exilés qui sont retournés au pays. Donc à cette époque, la seule préoccupation était de bâtir des immeubles en général préfabriqués pour loger, on avait négligé l'urbanisme et le côté esthétique, les villes ressemblaient à des jungles de béton ou il n'y avait pas ou peu d'espaces verts, de jardins, d'espaces pour les enfants, de stades....rajoute à ça, l'invasion des villageois qui ont donné une mauvaise image aux grandes villes. Ce n'est qu'à partir des années 80, après que le problème de l'habitat fut principalement réglé, que les autorités commençaient à donner de l'importance à l'urbanisme, l'image des villes s'est beaucoup améliorée, même si elle reste désagréable parfois.(Hafiane,2007).

Pour conclure en soulignant les objectives potentialités d'une architecture usinée, et ce malgré les critiques et réticences qu'elle rencontre, rappelons-nous les constructeurs de génie qui malgré leurs détracteurs ont passé des siècles à penser puis perfectionner les formes alors révolutionnaires du gothique que leur autorisaient les avancées techniques de leur temps.

2. Définition de l'industrialisation du bâtiment :

La notion de l'industrialisation du bâtiment est un concept large qui englobe différentes démarches, méthodes et organisation-planification dans un souci de rationalisation et d'optimisation. Nous allons essayer de comprendre et définir cette notion telle qu'elle a été conçue et pratiquée dans les pays industrialisés, de connaître ses principes applicables au bâtiment en général et au logement social en particulier.

D'après l'encyclopédie pratique de la construction « L'industrialisation du bâtiment est la recherche des conditions optimales d'exécution des travaux de construction adaptés aux conditions économiques, modernes et au progrès technique par une préparation minutieuse et méthodique du travail. Elle implique, certes, l'emploi à tous les stades d'exécution, de moyens et d'engins mécaniques évolués pour la préparation, la fabrication manutention et la mise en œuvre des matériaux, mais elle impose aussi l'organisation scientifique du chantier et plus généralement, et d'une manière aussi impérieuse, l'organisation rationnelle de toutes les fonctions quelles qu'elles soient qui concourent à l'acte de bâtir: Programmes, études, exécution, comptabilisation, facturation, exploitation, et quel que soit le promoteur : maître d'œuvre, techniciens de toutes disciplines, entrepreneurs et même maître d'ouvrage ».

En ce qui concerne l'industrialisation du bâtiment, son histoire et la profusion de systèmes d'éléments constructifs qui en a résulté, les publications spécialisées comportent des dizaines

de titres. D'abord, il était tout à fait naturel, dans le cadre de la révolution technique et scientifique qu'a connue l'Europe dès la fin du 18ème siècle, que l'ingénierie prendrait une importance de plus en plus croissante, avec l'introduction de la mécanisation et de nouveaux modes d'organisation du travail dans les systèmes de production capitaliste. C'est ainsi que dans le secteur du bâtiment, et à partir des années cinquante, les ingénieurs de génie civil ont soutenu la politique d'industrialisation du bâtiment en France grâce à l'importance du développement technologique de l'époque : « résoudre un problème – la pénurie de logement grâce à des solutions techniques novatrices. Seule l'industrialisation permettra de construire mieux, plus vite et moins cher ». (Vénard, J.L, 1984). Devant le rôle important de l'ingénierie, le discours architectural sera en faveur d'une architecture industrialisée avec une approche techniciste: L'industrialisation du bâtiment représentait alors pour les architectes « un espoir d'intégration de leur discipline dans l'olympie des activités et des productions modernes : la science et la technique de la croissance et du progrès » (Vénard, J.L., Hamburger, B, 1979).

3. L'architecture industrialisée :

D'après les travaux du Le Centre de Ressources et d'Informations Techniques (CRIT) créé par l'École d'Architecture de Nancy en partenariat avec l'École d'Architecture de Strasbourg dont nous avons extrait l'historique suivant. La préoccupation de la préfabrication en architecture est largement née avec l'acier, au 19ème siècle. Elle est rendue possible par la standardisation, c'est-à-dire par la fabrication en série d'éléments métalliques (colonnes en fonte, profilés laminés, etc.). Le Crystal Palace marque cette mutation, puisqu'il sera la première manifestation importante de standardisation, passant de la construction artisanale à la construction industrielle. La standardisation a permis un abaissement des coûts de réalisation ainsi qu'une rapidité d'exécution (6 mois). Tous les éléments composant l'ouvrage sont fabriqués en atelier, avec peu d'éléments différents, et sont ensuite montés sur chantier.

La préfabrication se généralise dès 1850. En Angleterre, les maîtres de forge construisent des maisons métalliques pour les expédier aux immigrants d'Amérique et d'Australie. L'ingénieur Romand transporte à la Martinique un hôpital militaire complet, en pièces détachées, prototype qui sera suivi d'autres commandes. La préfabrication était d'ailleurs très poussée puisque l'hôpital comprenait une ossature porteuse en fer forgé et un remplissage par panneaux de tôle mince, le montage se faisant entièrement à sec. Aux Etats-Unis, en 1867, la ville de Cheyenne est construite en 3 mois, avec en moyenne 3000 maisons arrivant de Chicago. Cette préoccupation se poursuit au 20ème siècle. Walter Gropius présente à l'exposition du Werkbund de Stuttgart une maison individuelle préfabriquée, à ossature métallique légère, montée à sec. Jean Prouvé propose plus tard des maisons préfabriquées avec une structure à portique central et des remplissages en panneaux préfabriqués en bois ou en acier.



**Photo I.1: Maison préfabriquées en Écosse et exportées en Australie Corio villa, Geelong, 1856
(Alan Ogg 1987)**

Par ailleurs, aux États-Unis, dès 1935, les fabricants d'acier procèdent aux essais de préfabrication industrielle. En 1937, la firme Le Tourneau et Hobart usine des maisons de un et deux étages, livrées prêtes à être habitées. Cette avancée dans la réalisation des maisons préfabriquées a conduit à une rapidité de construction stupéfiante des gratte-ciel, dans le montage des façades en particulier.

Il est intéressant de distinguer la préfabrication de l'industrialisation. La préfabrication dans le bâtiment est une industrialisation des éléments, avec des niveaux de composition variables (profilés, panneaux porteurs composés d'une structure et d'un remplissage, etc.) offrant une variété de combinaison des éléments suivant les projets. En revanche, l'industrialisation du bâtiment, telle qu'elle était définie par Le Corbusier par exemple, va plus loin et vise à répéter à l'infini un prototype de maison entière, à la manière de l'industrie automobile ou aéronautique. L'industrialisation a eu du mal à se réaliser à grande échelle parce qu'elle portait l'obligation de la répétition.



Photo I.2: Corio villa, Geelong, 1856



Photo I.3: Cottage, Melbourne, 1853 (Alan Ogg 1987).

Dans les années 20-30, le constructeur nancéen Jean Prouvé va proposer une nouvelle manière d'employer le matériau. Il façonne des tôles d'acier extrêmement légères : il plie, cintre, découpe, soude, etc. Il proposera dès 1924 des prototypes de mobilier (fauteuil réglable, chaises pliantes, etc.). L'armature est un corps creux, de section variable qui révèle la multiplicité des efforts : le profil est plus épais aux endroits où il y a tension et s'amincit dans

les parties moins sollicitées. Ce principe sera repris plus tard dans les éléments de structure qu'il va mettre au point.

Prouvé imagine des constructions légères, transportables et démontables. Ses recherches sont fortement animées par le souci de l'industrialisation : préfabrication, montage rapide et assemblage simplifié sur chantier. Le contexte d'avant-guerre et d'après-guerre s'y prête dans la mesure où il y a un besoin accru et urgent de reconstruction de logements. En 1931, il met au point des systèmes de cloisons amovibles, de panneaux porteurs de façades ou de cloisons intérieures. Il travaille également sur des systèmes de structure préfabriqués permettant un montage rapide : portiques, béquilles, sheds, coques, etc. En 1945, il invente le système de portique intérieur axial. Ce système va être utilisé dans la maison à portique central, mise en œuvre entre autres dans un programme de construction de maisons à Meudon en 1945, à la demande du ministère de la reconstruction et de l'urbanisme.

-la maison à portique :

La structure est réalisée par débit et pliage de tôles d'acier en 4 m de longueur. Le portique est en forme de V renversé et supporte la poutre maîtresse. Des poutres de rive sont associées à la poutre centrale et constituent les supports de toiture. Le montage est effectué soit au sol, sur des dés, soit sur des pilotis. Les assemblages se limitent à des emboîtements et à des boulonnages de sécurité.



**Photo I.4:Montage
Maxéville, 1945,
Prouvé.**

**d'une maison à portique axial,
Constructeur : Jean
(www.crit.archi.fr)**

Un autre système constructif mis au point est celui de la béquille en tôle pliée. Le système le plus élaboré sera celui de la béquille unique. L'un des projets les plus significatifs de ce système sera la buvette d'Évian, construite en 1956. Le système est en équilibre, réalisé par une triangulation entre les béquilles dissymétriques reposant sur des articulations et les tirants de façade. La courbe de la toiture inversée est réalisée en panneaux multiplies de bois.



**Photo I.5: Système de béquille unique, Buvette de la source Cachat, Evian, 1956,
Constructeur : Jean Prouvé (www.crit.archi.fr)**

Jean Prouvé propose également des sheds, éléments de toiture monoblocs en métal, destinés à la couverture des usines. Il adapte ensuite le système et l'utilise comme coque autoportante dans l'habitation. Un prototype d'habitation est réalisé à l'occasion du salon des arts ménagers en 1951, dans lequel il utilise ces éléments coques comme éléments porteurs. Le projet n'a pas eu de suite parce que jugé "trop moderne". Néanmoins, il associera ce système de coque au système structurel de béquille unique comme élément de couverture et utilise ce système dans la construction "d'écoles standard". (www.crit.archi.fr)

-Maison du Peuple à Clichy

SIMONOT Béatrice a publié un livre intitulé «La Maison du Peuple, un bijou mécanique» nous avons extraits ce qui suit : En 1938, Jean Prouvé réalise avec les architectes Beaudouin et Lods la Maison du Peuple à Clichy. La structure en acier est apparente à l'intérieur comme à l'extérieur. L'idée forte de ce projet est la flexibilité, pour répondre à un programme complexe où cohabitent dans le même espace, une salle de spectacle transformable par cloisons mobiles, un marché en plein air et trois étages de bureaux.

La structure est une ossature en profils laminés assemblés. Un système de toit escamotable et de planchers mobiles sont mis au point. L'innovation principale est dans le système de façades légères, suspendues et entièrement modulaires, composées de panneaux pleins d'une trame de 1,04 m. L'espace entre les feuilles de tôle d'acier des deux faces est maintenu par des traverses et des ressorts à matelas, qui en les tendant pour les rigidifier, leur donne une forme sphérique. C'est au cours de ce projet qu'est mis au point un système de profil raidisseur vertical accroché à l'ossature qui maintient le double vitrage par serrage. Ce système de façade est considéré comme le premier exemple d'application de mur-rideau au monde.



Photo I.6: Maison du Peuple à Clichy (www.crit.archi.fr)

4. Innovations technologiques dans la construction :

La construction présente un certain nombre de caractéristiques qui conditionnent l'apparition et la diffusion des innovations technologiques dans le secteur. La production est hautement différenciée et s'effectue sur un grand nombre de sites temporaires, dispersés et de caractéristiques variées (taille, nature du sol, de l'environnement, etc.). Ces circonstances tendent à limiter l'applicabilité à grande échelle d'innovations développées dans le cadre d'un projet donné. Elles limitent aussi les opportunités d'automatisation et de standardisation opérationnelle de la plupart des activités de construction, du moins en ce qui concerne la mise en œuvre.

La production des matériaux et composants est par contre en cours d'industrialisation. On remarque de plus en plus un transfert toujours croissant du travail sur chantier vers l'atelier ou l'usine surtout pour les grandes opérations d'habitat. En témoigne, le recours de plus en plus fréquent à des éléments préfabriqués tels que poutrelles en béton précontraint, pièces de détails architectoniques, planchers, linteau...pour certaines catégories de bâtiments et d'ouvrages de génie civil. Il va de soi que cette évolution a considérablement modifié le fonctionnement des chantiers dans notre pays.

Les avantages procurés sont nombreux, en termes de productivité, de coûts, de précision dimensionnelle, de contrôle des performances. La préfabrication n'est cependant pas synonyme de production de masse standardisée. La nécessité de personnalisation de l'offre a par ailleurs conduit à de nombreux développements dans le sens d'une technologie "sur mesure", basée sur l'adaptabilité des matériaux aux exigences spécifiques des projets, par intervention sur leur microstructure (matériaux de synthèse) ou leur macrostructure (bétons spéciaux, mortiers de résine, matériaux composites). Le secteur de la construction est faiblement concentré. La grande majorité des entreprises du secteur, peuvent s'avérer dans certains cas plus aptes que les grandes entreprises à s'engager dans la voie de technologies innovantes. Elles éprouvent par contre plus de difficultés à réunir les ressources nécessaires à l'accomplissement d'un programme important, puis à sa commercialisation. Elles sont de même peu susceptibles en règle générale de pouvoir investir de façon permanente. Les fonctions de conception, production des matériaux et composants construction sont remplies par des intervenants distincts architectes, bureaux d'études, fabricants de matériaux et d'éléments de construction, entrepreneurs. Cette fragmentation tend à ralentir la diffusion des innovations ayant une implication à plusieurs stades du projet. Elle tend aussi à décourager l'effort de recherche et développement des entreprises de construction.

5. Formes de préfabrication :

5.1. La préfabrication légère :

Certains architectes, ingénieurs et industriels, qui ont été largement influencés et fascinés par le succès modèle de l'industrie de l'automobile, ont présenté les techniques de préfabrication lourde classique comme une « caricature » de l'industrialisation du bâtiment, le coulage de grands panneaux en bétons est une opération relativement primaire et les produits qui en sont issus sont peu élaborés. Pour eux, « la préfabrication légère » utilisant des technologies évoluées et des matériaux légers et nobles serait la vraie industrialisation. Par opposition à la préfabrication lourde, la préfabrication légère fait appel à des éléments dont le poids est de l'ordre de quelques centaines de kilogrammes, donc à de nouveaux matériaux autres que le béton ordinaire assurant la légèreté des éléments tel l'acier, l'aluminium, le verre, les plastiques, le bois et ses dérivés, les bétons légers, etc. La préfabrication légère peut être illustrée par deux exemples : les éléments incorporés à une ossature porteuse (ou éléments légers de remplissage) et la maison individuelle légère.



-La maison individuelle légère :

La maison individuelle légère de catalogue a connu un grand développement grâce à de nombreux facteurs :

- La réduction très rapide de la taille des chantiers et la dispersion de la majorité des opérations, ont favorisé le système léger.
- La maison préfabriquée est jugée généralement meilleure marché que la maison construite en aggloméré de béton, parpaings.
- La notion de la série est renforcée avec la multiplication des exemplaires présentés sur le catalogue.

Son mode de commercialisation présentant plusieurs avantages, notamment l'anticipation de la demande, l'offre multiple de choix sur la base de plans, la surface, les styles architecturaux, l'esthétique, les matériaux, le prix, etc. Ce mode de commercialisation permet au client d'avoir affaire à un interlocuteur unique qui va s'occuper de toutes les formalités et procédures administratives, et bancaires nécessaires à l'achat de toute maison. Il y a même un service après-vente.

La formule « maison légère de catalogue » a permis, grâce à ses modes de fabrication, de mise en œuvre et de commercialisation spécifiques de supprimer les délais d'étude et éviter tous aléas et suppléments au profit de l'usager. Notons quand même l'existence de quelques freins de développement de cette voie de préfabrication légère dont les plus importants sont relatifs aux réticences des usagers qui assimilent souvent ces habitations à des constructions de mauvaise qualité, à caractère plus au moins provisoire. (Gérard Fleury et José Fontan, 1983). Si la légèreté est généralement, pour les connaisseurs du métier, un signe que la maison préfabriquée est soigneusement étudiée et calculée, elle est pour une grande part de population un signe d'insécurité, etc. On reproche également aux maisons légères préfabriquées la médiocrité et la banalité de l'architecture, la pauvreté de l'esthétique: « ces maisons de la gamme inférieure sont jugées moins jolies et d'une simplicité qui ne cache pas la modestie des revenus » (Jean Marc Stebe, 2002).

Même si la maçonnerie traditionnelle continue à s'imposer, l'introduction de composants industrialisés est en très forte progression voire en voie de généralisation : « complexes plaques de plâtre plus isolant en doublage des murs périphériques, enduits projetés monocouches, conduits de cheminées métalliques, menuiseries en PVC... ».

-Quelques exemples d'industrialisation :

En Suède, l'entreprise Skanska a mis au point un concept d'habitat, à mi-chemin entre le collectif et le groupé, constitué de modules de 48, 59 et 74 m². Ce concept qui a permis la réalisation de 1500 habitations s'exporte maintenant en Grande-Bretagne.

D'autres exemples d'industrialisation peuvent être cités. Aux Pays-Bas, la Holland-Composites-Industrials propose des logements temporaires démontables, remontables et transportables. Les modules de 18m² peuvent s'empiler jusqu'à trois étages. Le coût modéré

de ces spacebox et les multiples usages qui peuvent en être faits contribuent à leur bonne commercialisation.



Photo I.7: Spacebox Holland Composites Industrials. (www.spacebox.info).

Le spacebox, concept d'habitat semi permanent, permet une installation rapide et une cellule individuelle qui peut se décliner selon différente conception puisqu'on peut juxtaposer et empiler jusqu'à 3 étages. Chaque cellule est pré-équipée en coin cuisine et sanitaire (douche + toilette). Une cellule mesure 18m^2 pour un volume de 45m^3 et pèse 2500 kg . En Allemagne, les « Small houses » petites maisons individuelles de 63 m^2 peuvent s'assembler en quelques jours à partir de panneaux de bois. Elles peuvent être utilisées séparément car dotées de larges baies vitrées ou accolées, en extension d'un bâtiment existant. Aux Etats-Unis, dont chacun connaît le degré d'industrialisation de l'habitat, individuel en particulier, l'entreprise Alchems a mis au point un concept d'habitat, rapide de mise en œuvre, résistant aux catastrophes naturelles et économique ininflammable, économe en énergie, la maison Doomdar (Cécile Felzines,2005). Il s'agit d'un système simple une coque (membrane de PVC) circulaire posée sur des fondations, isolée par une injection de mousse de polyuréthane, renforcée par une structure en fer à béton sur laquelle est projeté du béton. La coque peut être de dimension variable et offrir même des grandes surfaces.

5.2. La préfabrication lourde classique :

La préfabrication lourde, classique consiste à fabriquer en usine ou en atelier ou sur chantier, des éléments d'ouvrages dont la masse est très importante, de l'ordre de 2 à 10 tonnes. Ces éléments sont généralement, des grands panneaux en béton constituant des murs entiers, des cloisons, des façades, des planchers, etc. Ils se présentent, dans la plupart des cas, sous forme d'ouvrages entièrement terminés, par l'intégration, dans un même élément, de diverses fonctions (y compris les enduits, les parements et les canalisations). La préfabrication lourde classique désigne en fait un type bien précis de l'industrialisation lourde qui se pratiquait dans les années 1950 en comparaison avec la préfabrication lourde qui se pratiquait, à partir des années 1970, dans le cadre de l'industrialisation ouverte (construction par composants compatibles). La différence entre les deux types est que le premier procède par un découpage du projet d'architecture ou d'un modèle de bâtiment en ses éléments ; ces derniers sont ensuite fabriqués en grande série, selon la taille de l'opération. Dans le deuxième type, les éléments sont fabriqués indépendamment du projet.(OPPBT,1997).

La préfabrication lourde utilise deux catégories de procédés : la première est basée sur des moyens traditionnels évolués (produits de construction livrés sur chantier, usage du coffrage outil glissant ou tunnel, etc...). Elle utilise un matériel généralement lourd et coûteux dont l'amortissement exige des rotations rapides du matériel. La seconde catégorie utilise plutôt des moyens industrialisés. Ces procédés consistent à fabriquer tous les éléments du gros œuvre, notamment les panneaux porteurs de 6 à 10 tonnes aux dimensions d'une pièce (mur de façade, de refend,...), les portiques et les systèmes structuraux poteaux/poutres, les planchers de même caractéristiques que les panneaux, les volées d'escalier, etc. Tous ces éléments sont garnis de feuillures et de fers en attente pour assurer le montage et l'assemblage définitif des différents éléments entre eux à l'aide du béton coulé sur place.



Photo I.8: Type d'Industrialisation lourde (poutre en béton). (www.archiexpo.fr)

6. L'influence de l'industrialisation sur la forme architecturale :

La production industrielle influence fortement la forme de l'architecture produite. Il n'est plus question que de répétition et de série. L'architecture doit "*devenir soumission, soumission réfléchie, dirigée et épurée, mais soumission tout de même à la machine (...)* Une forme ne sera viable et possible que si elle peut être fabriquée industriellement pour la masse (...) C'est cette cellule qui constitue le véritable élément fonctionnel autonome et qui mérite toute notre attention répétitive. Quelque répugnance que nous ayons à comparer le bâtiment à d'autres industries, c'est la création de cette cellule qui devient comparable à celle d'un modèle d'avion, d'automobile ou de réfrigérateur." (A. Balency-Béarn, président de la Direction de l'Assistance Technique à la Fédération Nationale du Bâtiment.)

La cellule d'habitation sera donc l'objet de toutes les attentions, et on ne peut nier les prestations et les progrès qu'elle introduit dans le domaine du logement social : appartements clairs et aérés, équipements sanitaires et de chauffage, augmentation du volume habitable par personne. Cependant, les axiomes du mouvement moderne sont difficilement compatibles avec la logique de la production industrielle, et les plans des logements ne sont pas libres, mais prisonniers de la trame des murs de refend, trame dont l'écartement et le sens font l'objet d'études poussées. Tout l'art des architectes consiste à faire rentrer le nombre de logements demandés dans ces trames simples ou croisées, petites ou grandes selon le procédé constructif choisi. Dans la majorité de la production courante, le coffrage tunnel est employé, une largeur de trame correspondant à la largeur de la pièce. Les possibilités de variation du plan sont donc minimales, car toutes les pièces ont des murs porteurs en béton, où il est même "impossible de planter un clou".

En façade, la structure constitue une grille sur laquelle sont accrochés les lourds panneaux préfabriqués. Le réalisme économique a souvent eu raison des vellétés combinatoires et modulaires que les défenseurs de ce procédé avançaient. *“La crainte de l’uniformité n’est pas justifiée, dans la mesure où l’adoption d’une même modulation pour la structure et les panneaux de façades permet justement d’atteindre à une richesse de combinaisons et d’expressions très remarquables, à partir d’un nombre raisonnable d’éléments de base”* (H. Duthu et M. Villaneau, 1965).

En réalité, le nombre raisonnable d’éléments de base est souvent fixé à deux ou trois, et les problèmes d’assemblage, de raccord et de joint mettent un frein puissant à cette volonté de composition. Les façades n’ont plus alors le rôle représentatif qu’elles assuraient traditionnellement. Elles sont planes, dessinées par le joint creux, et ne créent pas, à l’intérieur ou à l’extérieur, d’espaces de transition. Elles assurent uniquement un rôle de clôture et ne représentent que le système constructif mis en œuvre. Les halls d’entrée et les circulations verticales sont réduits à leur plus simple expression, dans une logique fonctionnelle. Les rez de chaussées ne sont plus le lieu de contact entre le bâtiment et la rue, et sont dédiés, en un lointain écho des pilotis “modernes”, aux locaux communs, garages à vélos et aux caves. Du toit terrasse ne subsiste que la trace formelle et il n’est jamais accessible. On est bien loin des prototypes du mouvement moderne, et le dialogue de Le Corbusier avec Henry Frugès à propos du lotissement de Pessac prend alors une saveur toute particulière. En effet, malgré l’emploi d’un même module entraînant une unité formelle répétitive, l’ensemble présente un caractère varié et jamais monotone.

En urbanisme, les bâtiments sont implantés selon des critères d’ensoleillement, mais aussi en fonction des contraintes d’accès et d’approvisionnement en matériaux, ainsi que dans un souci de rentabilisation maximale des grues. La rue n’existe plus, les bâtiments sont simplement desservis par des voies internes qui se transforment en parkings au pied des immeubles et parfois en impasse. Il en résulte des quartiers complètement déconnectés des autres quartiers de la ville. De plus, en France, la plupart des grands ensembles ont été conçus non pas comme des villes nouvelles à l’exemple d’autres pays (Angleterre, Allemagne, Scandinavie) mais comme des quartiers nouveaux, dépendants de la ville existante. Leur implantation sur des terrains agricoles éloignés des centres, décidée à un niveau national, a été quelquefois imposée aux mairies. Il en résulte une coupure importante, renforcée par le manque d’équipements et les lacunes des transports en communs.(Pierre Chemillier,2002).

7. Avantages et Inconvénients de la préfabrication :

La préfabrication abritée d'éléments quasiment ou partiellement finis, et leur montage sur chantier, amènent un grand nombre d'avantages : L'un des principaux avantages de la préfabrication réside dans le fait qu'on a la possibilité de réaliser aisément une même pièce un grand nombre de fois. En effet, une fois le moule réalisé il est possible de fabriquer un élément en chaîne en un minimum de temps. Dès lors, on réduit considérablement le temps de construction sur chantier (limitant la construction à une série d'assemblages) et on augmente ainsi le profit (retour plus tôt du capital investi).

De plus, les éléments préfabriqués peuvent être réalisés suivant des caractéristiques bien précises. Ainsi, ils répondent mieux aux exigences de l'environnement et/ou de l'ouvrage. Par ailleurs, leur forme pouvant être complexes ou leur taille importante, il est parfois nettement plus intéressant de réaliser des éléments préfabriqués plutôt que de les réaliser sur place. Par exemple, les escaliers d'un immeuble seront systématiquement préfabriqués car cela représenterait une perte de temps que de les couler sur chantier.

D'autre part, la réalisation d'éléments préfabriqués en usine minimise les pertes et augmente leur durabilité. En effet, pour le béton par exemple, la réalisation de poutres ou de dalles sur chantier implique une utilisation massive de béton et la nécessité de réaliser le travail rapidement. Dès lors, les pertes de constituants sont plus importantes que si le travail avait été réalisé en usine.

Par ailleurs, certains ouvrages tels que les ponts ou les barrages sont parfois victimes de conditions météorologiques assez problématiques. Ainsi, l'utilisation d'éléments préfabriqués réduisent considérablement le temps de construction de l'ouvrage et permettent une mise en œuvre plus rapide, ce qui contourne le problème environnemental. Par ailleurs, les conditions climatiques telles qu'une faible température n'arrêtent pas la production.

Enfin, en ce qui concerne la sécurité et le contrôle d'éléments, la préfabrication représente un avantage majeur. En effet, les différentes pièces préfabriquées sont contrôlables durant leur production et les défauts sont plus aisément remarquables, ainsi il est plus facile de les corriger. De plus, les éléments préfabriqués étant réalisés de façon indépendante, ils doivent posséder de bonnes performances constructives (avant leur mise en œuvre, ndlr) et leur assemblage est généralement réfléchi afin de limiter les échafaudages (et donc minimiser les accidents potentiels). Aussi, leur résistance au feu est plus importante car les matériaux utilisés sont mieux mis en œuvre. (Dany Blackburn, 2006)

Autres avantages :

- Grande ouverture à la rationalisation, voire l'industrialisation, des procédés.
- Fabrication, voire même assemblage, dans un environnement protégé : à l'abri des intempéries, des vols, des regards.
- Travail dans un environnement propice à la précision.
- Meilleure maîtrise de la qualité.
- Meilleure maîtrise des facteurs erreur, accident et maladie.

- Maîtrise de l'humidité.
- Meilleure disponibilité d'équipement : tout est sur place.
- Forte réduction des déplacements et de leur logistique.
- Besoin réduit, très ponctuel, de transport routier = sous-traitance ou location.
- Meilleure planification matérielle et du temps (délais, heures travaillées, hiver)
- Moins de personnel sur le site.
- Le travail en usine, basé sur la division des tâches et l'utilisation de machines, permet une augmentation de la productivité en utilisant de la main d'œuvre dont les compétences sont de plus en plus "spécialisées". Pour le bâtiment, le transfert en usine permet aussi de travailler à l'abri, en n'étant plus assujéti aux conditions météorologiques.

La préfabrication c'est génial, c'est super, mais il existe tout de même quelques inconvénients à celle-ci. Dans un premier temps, on préfabrique de plus en plus d'éléments complexes, mais cela implique une manipulation soignée de ces éléments et leur acheminement vers le chantier n'est pas toujours évident. Pour de grosses pièces, il faudra parfois organiser des convois exceptionnels et utiliser des gros camions qui polluent. Par ailleurs, lors de l'assemblage d'éléments préfabriqués, il se peut que certains joints posent problème et que des fuites apparaissent. Pour des pièces en béton par exemple, la précision n'est pas toujours exceptionnelle.

Conclusion :

L'innovation dans le domaine du bâtiment, bien qu'elle soit permanente, elle est lente et demeure prisonnière du long héritage en matière de construction classique, ordinaire. Ce qui permet de dire, que malgré certains aspects de l'industrialisation, notamment la mécanisation de certaines tâches et leur transfert en usine, le bâtiment, d'aujourd'hui, ne diffère pas totalement de celui d'hier. Il garde toujours les mêmes aspects. Il passe toujours par les mêmes phases de production. Il n'a pas connu une révolution extraordinaire. En réalité, on ne fait que reproduire le traditionnel, mais avec des outils qui nous permettent de produire plus et vite....



Chapitre II

U. South-Ahras

La conception d'une structure est le processus qui, inscrit dans une démarche de projet d'architecture, vise la production d'un schéma structurel qui conduit à une construction stable, peu déformable, résistante, et aussi réalisable. Il s'agit d'une activité de l'esprit par laquelle on forme des projets. Nous apportons dans ce chapitre quelques éléments de réflexion sur la démarche de conception.



Photo I. 9: maison préfabriquée. (Suzel Balez et Vincent Rigassi, 2007-2008)

1. Généralités, principes et objectifs :

Un bâtiment est un produit généralement unique (situation, contextes, usages, ...), qui n'est pas que la somme des parties mais avant tout un assemblage constituant des systèmes cohérents ayant des interactions avec les systèmes existants (naturels globaux et locaux, culturels, patrimoniaux, infrastructures type VRD, transports en commun, la composition, mixité, sociale, etc.). L'architecture se développe dans un cadre si riche de contraintes que les techniques nécessaires à sa réalisation deviennent, comme tout autre art, langage et expression. (Suzel Balez et Vincent Rigassi, 2007-2008). Ces contraintes dérivent du fait que l'homme construit pour des besoins fonctionnels, même si ce n'est pas la seule motivation. Habiter, se déplacer, communiquer sont des activités qui requièrent des supports construits. La ville, la ligne de transport ou de communication nécessitent des structures adéquates pour fonctionner. Si on regarde en détail chaque édifice, on voit qu'il est muni d'une structure expressément conçue pour répondre aux besoins fonctionnels qui sont à son origine.

La structure est une fonction de la construction: concevoir la structure d'un édifice signifie projeter l'édifice de sorte que ses performances soient appropriées aux besoins sous les actions prévues. On ne peut pas projeter l'un sans penser à l'autre. Dans certains cas on ne peut même pas distinguer concrètement la structure du reste de la construction (pensez aux toiles tendues, nappes de câbles, structures pneumatiques, voûtes et voiles en béton, constructions en maçonnerie ou en terre).

L'analyse séparée de chaque fonction de l'architecture, et donc de la structure, et son étude finalisée à l'obtention des performances souhaitées est une méthode efficace de travail – dont il ne faut pas nier l'importance, la puissance et la fécondité –, mais cette analyse n'est pas en elle-même conception architecturale. Dans son rôle de médiateur entre actions répertoriées et performances demandées, la fonction structurelle est normalement conçue sur la base de quelques principes :

- Economie de moyens. Obtenir les performances demandées avec la démarche de projet et le système constructif les plus simples, en donnant à ce terme le sens de ce qui est plus utilisé dans des contextes similaires.
- Décomposition et ordre morphologique. L'ensemble est obtenu à partir d'éléments dont le fonctionnement est appréhendé sur la base de modèles simples; l'association de ces éléments réalise un système d'ordre supérieur, dont le fonctionnement peut à nouveau s'appréhender simplement. Par exemple une ossature peut être décomposée en portiques qui, à leur tour, se composent de poutres et poteaux: le premier niveau d'ordre morphologique du système est celui des poutres et poteaux, le deuxième celui des portiques et le dernier est l'ossature.
- Hiérarchisation des éléments, contrôle de la redondance. Entre éléments porteurs et éléments portés existe une relation d'ordre hiérarchique qui permet la distinction d'une structure primaire, secondaire, etc. On introduit éventuellement de la redondance au sein des différents niveaux (qui demeurent distincts). Une structure n'est jamais simplement définie par la donnée d'un matériau et d'un volume plein composé de ce matériau ;
- Aptitude au montage. Une structure est un assemblage qui doit se construire. Les conditions aux limites et les joints composent la structure au même titre que les éléments de structure proprement dits, la logique constructive de l'ensemble fini résulte aussi de la logique du montage.

La préfabrication d'éléments en usine et leur emploi dans les constructions en béton est un processus industrialisé très répandu à travers le monde. Il est rare qu'un bâtiment à étages civil ou fonctionnel courant ou spécial soit coulé en place dans sa globalité.

2. Typologies des structures :

2.1. Construction à portique :

A-Utilisation habituelle de ce mode de construction

Un portique est une structure élémentaire, constituée de deux montants supportant une traverse, ces trois éléments ayant leur axe contenu dans un même plan. Sa fonction structurelle est de porter les charges qui s'appliquent sur lui en les déviant vers ses fondations, pour générer ainsi un espace dégagé. Une structure composée de portiques est une ossature obtenue par la répétition de ces éléments, qui permet de créer un espace abrité et éventuellement des étages.(CERIB,2005).

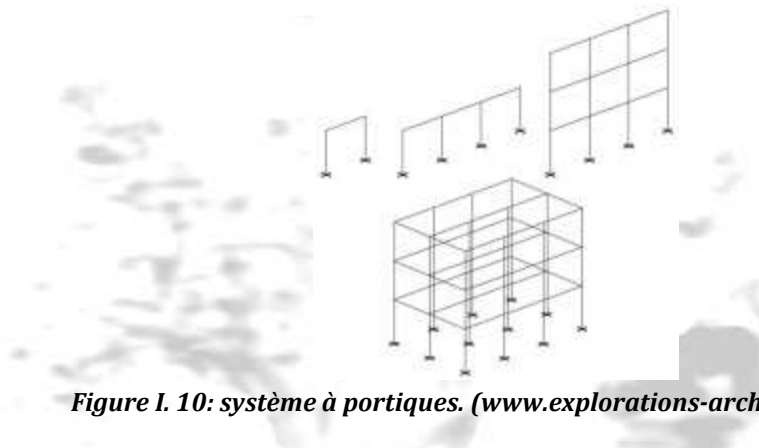


Figure I. 10: système à portiques. (www.explorations-architecturales.com)

Les portiques constituent bien souvent l'ossature principale des bâtiments industriels et commerciaux, des entrepôts, des halls de gare et parfois des installations sportives nécessitant de réaliser des volumes importants. Pour ces bâtiments «légers» ou « moyennement lourds », l'acier se présente comme un principe constructif simple et économique tout en autorisant des choix architecturaux audacieux. On peut également utiliser les portiques pour stabiliser les bâtiments plus conséquents relevant de l'industrie lourde, et notamment dans les halls d'aciéries et les centrales de production d'électricité.

B-Choix d'une solution portique.

Un certain nombre de paramètres influent sur la conception des portiques. Les concepteurs peuvent utiliser des produits laminés, des éléments reconstitués soudés, des structures treillis, ou des structures combinant ces types d'éléments. Parmi ces paramètres, les plus importants sont :

- la portée entre poteaux.
- la grandeur et le type de charges appliquées (statique, dynamique dans le cas par exemple de ponts roulants etc.)
- l'aspect architectural.
- la hauteur disponible sous jarrets.
- le coût relatif d'une solution par rapport à une autre.



Photo I.11 : construction à portique métallique.



Photo I.12 : construction à portique en béton.(www.ytong.f)

2.2. Construction à ossature :

Plusieurs matériaux sont utilisés dans les ossatures. Nous citerons à titre d'exemple le bois. L'ossature est la technique la plus répandue. Elle séduit les maîtres d'ouvrage autant par son esthétique plurielle et contemporaine, que par sa légèreté et sa rapidité de mise en œuvre.

Le système constructif de l'ossature bois consiste à ériger une trame régulière et faiblement espacée, de pièces verticales en bois de petites sections, les montants, et de pièces horizontales hautes, basses et médianes, les traverses et entretoises.

Sur cette ossature, supportant planchers et toiture, est fixé un voile travaillant en panneau dérivé du bois qui assure le contreventement. L'isolant thermique s'insère entre les panneaux que recouvrent les parements intérieurs et extérieurs.



Figure I. 13: Perspective intérieure d'une ossature bois.(certu,2008).

D'après une étude faite au Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques(CERTU) portant sur la construction à ossature bois et qui a pris comme exemple le restaurant administratif du CETE (Centre d'Études Techniques de l'Équipement) de Lyon en 2008. L'ossature du bâtiment est réalisée selon les principes du système constructif "poteaux-poutres". Cette technique se caractérise par l'utilisation de poteaux et de poutres en bois massif (BM) ou en bois lamellé-collé (BLM) de forte section, disposés selon une trame définie par l'architecte. L'ensemble forme un système modulaire tridimensionnel qui se développe horizontalement et verticalement. La toiture est supportée par les poutres, elles-mêmes supportées par les poteaux qui transfèrent l'ensemble des charges au système de fondation.

Cette ossature est stable sans la participation des façades, ce qui lui confère une grande souplesse architecturale en plan, en façade et en coupe. Dans ce projet, le squelette formé par les poteaux et les poutres est apparent, il génère ainsi une structure visible dans laquelle s'insèrent les parois opaques, les baies et les portes. Les panneaux de façade ne sont pas porteurs mais ils participent au contreventement latéral de la structure. Ces panneaux ont essentiellement un rôle d'enveloppe et constituent les parois extérieures du bâtiment.



Photo I.14 et Photo I.15: Exemple de Structure primaire de l'ossature bois.(www.certu.fr).

-Les assemblages :

3. Poteaux et supports maçonnés :

La structure bois est posée sur un soubassement maçonné sont généralement réalisé et livré par une l'entreprise du lot gros œuvre. Les réservations et les scellements sont exécutés par un maçon sur les directives du charpentier. La liaison mécanique des poteaux avec les fondations est réalisée par l'intermédiaire d'un connecteur en acier galvanisé appelé "pied de poteau ou sabot" constitué de ferrures à tôle en âme ancré dans la maçonnerie. L'assemblage du poteau avec ce connecteur est réalisé à l'aide de broches. Les sabots métalliques à âme centrale présentent l'avantage d'être moins visibles et moins exposés que les sabots à âmes latérales.



Photo I.16: Pied de poteau en acier galvanise.www.certu.fr

4. Poteaux et poutres primaires

Les poutres primaires hautes et basses sont fixées contre les poteaux à l'aide de tire-fond à longue tige filetée et de boulons. La charge admissible de l'assemblage des poutres hautes est renforcée par l'installation de crampons à double denture.



Photo I.17: Exemple d'assemblage des poutres primaires sur les poteaux en bois.(www.certu.fr).

5. Poteaux et traverses

La liaison des traverses situées en partie haute de l'ossature avec les poteaux est réalisée par l'intermédiaire de connecteurs métalliques cloués sur les poteaux. L'assemblage de la traverse avec ce connecteur est réalisé à l'aide d'une broche en acier galvanisé.

-Détails constructifs

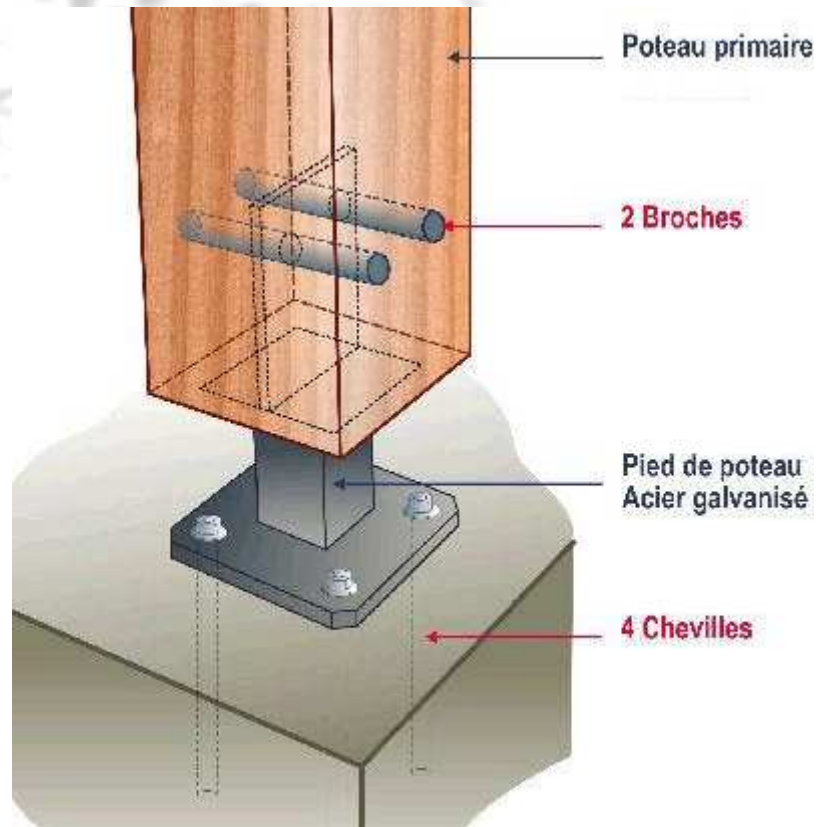


Figure I.18: Liaison poteau fondation.(www.certu.fr)

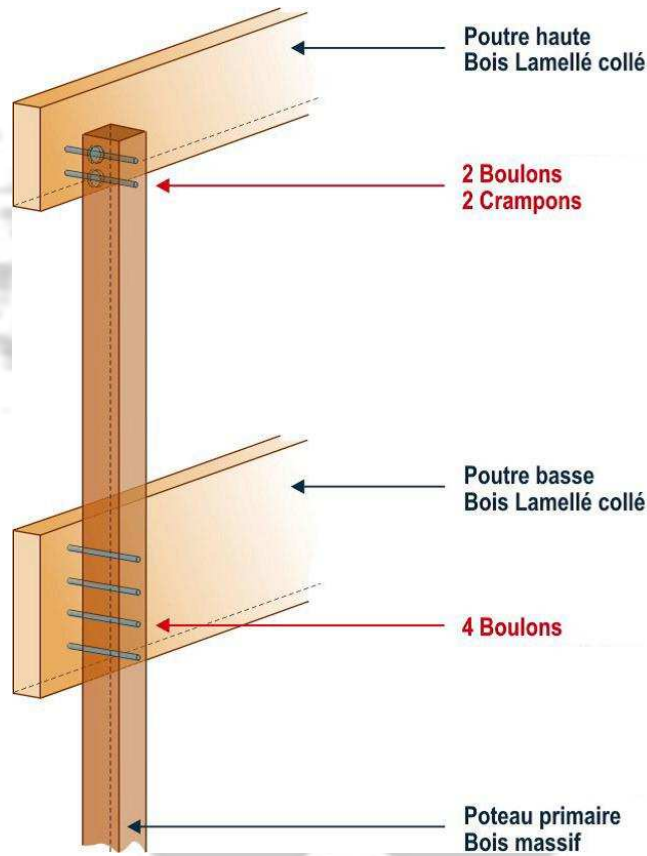


Figure I.19: Liaison poteau poutre.(www.certu.fr)

2.3. Système à mur préfabriqué et voile :

Les murs préfabriqués sont des panneaux de murs fabriqués en usine selon des plans et devis. Ils permettent d'ériger la structure plus rapidement, d'effectuer un meilleur contrôle des coûts et de minimiser les pertes au chantier. Les murs préfabriqués sont construits de façon à être prêt à recevoir le revêtement extérieur et les panneaux de gypse à l'intérieur ou tous types de finitions.



Photo I.20 : Exemple d'un mur préfabriqué en bois. (www.sturcturedacote.com)

La conception des structures en voiles et dalles souligne le jeu des plans, lorsque fusionnent dans un édifice les dispositifs spatial et constructif : une composition de parois verticales pleines et autoportées, associées aux surfaces horizontales reposant sur ces appuis. La raison pour laquelle on traite ensemble ces deux types d'éléments de structure vient de ce que

leur composition donne lieu à une typologie structurelle très répandue, dite structure à base de voiles ou de murs porteurs. Par ailleurs, on peut trouver ces éléments associés dans des structures à base de portiques dans lesquelles les voiles jouent un rôle de contreventement, composant éventuellement des noyaux.

Un voile, comme une dalle, est un élément de structure dont l'épaisseur a une dimension largement inférieure aux deux autres, lesquelles se trouvent sur un même plan. Un voile s'étend sur un plan vertical et supporte des charges verticales et horizontales essentiellement contenues dans ce même plan ; une dalle est une structure étendue sur deux directions horizontales supportant des charges essentiellement



Photo I.21 : voile en panneaux préfabriqués. Photo I.22 : Exemple d'un mur de façade en béton préfabriqué. (www.archiexpo.fr)

2.4. Les planchers préfabriqués :

Les planchers sont des éléments prédominant dans la construction d'un bâtiment autant dans leurs caractéristiques mécaniques que dans leurs rôles porteurs. Cependant, le concepteur a devant lui un large éventail de procédés de construction et il doit évaluer, estimer et vérifier la faisabilité de ses choix qui influent directement sur son planning des travaux et également sur le coût de réalisation de son projet. (Elliot Polania,2006). Il existe de nombreux types de systèmes de planchers préfabriqués, dont les principaux sont :

- Plancher alvéolé en béton armé ou précontraint :



Photo I.23 : Plancher alvéolé en béton armé.(www.febefloor.be).

Les planchers alvéolés précontraints sont bétonnés sur de longs bancs de précontrainte à l'aide de méthodes industrielles automatisées, et sciés à longueur après durcissement. La face inférieure est lisse, les bords latéraux étant profilés, afin d'assurer une bonne transmission

des efforts à travers les joints. Les éléments sont précontraints à l'aide de torons ou fils à haute résistance ; la résistance caractéristique à la compression du béton est d'au moins 50 N/mm². Ils présentent des évidements longitudinaux de sections et dimensions diverses, ce qui diminue nettement leur poids propre. Ces évidements longitudinaux, dont le nombre et le diamètre varient selon le type de dalle, peuvent servir à recevoir toutes sortes de canalisations ainsi que des systèmes d'aération et de chauffage. (Arnold Van Acker, 2011).

Les dalles alvéolées sont généralement en béton précontraint, d'épaisseur comprise entre 12 et 40 cm, de largeur standard 1,20 m et de longueur pouvant aller jusqu'à 20 m.

La modulation est un facteur économique important dans la conception et l'exécution de planchers préfabriqués. L'utilisation d'un planning modulaire ne doit pas forcément constituer une limitation à la liberté architecturale, parce qu'elle constitue uniquement un moyen d'arriver à un travail systématique et économique, et de simplifier les assemblages et les détails constructifs. Outre la fonction portante, les planchers préfabriqués assurent également le transfert et la répartition des efforts horizontaux vers les noyaux raidisseurs et les parois transversales de la construction.

➤ Planchers nervurés:

Ils sont constitués de poutres en T ou en double T dont la nervure généralement trapézoïdale est associée à un hourdis supérieur de 2,50 m de largeur standard. Ces éléments sont munis d'armatures en attente permettant la liaison avec une table rapportée. (Elliot POLANIA, 2006). Dimensionnés pour recevoir de fortes charges, ces planchers sont essentiellement utilisés pour les bâtiments industriels (grandes surfaces, halls de stockage) et les parkings.



Photo I.24 : Exemple de plancher nervuré double T (Elliot POLANIA, 2006)

➤ Les planchers à prédalles:

Les prédalles, d'épaisseur généralement comprise entre 5 et 8 cm et de 2,50 m de largeur standard, forment la partie inférieure du plancher et sont associées à du béton coulé en place son épaisseur doit être au moins égale à deux fois celle des prédalles afin de constituer le plancher fini (CSTB, 1985). Certaines prédalles comportent des

raidisseurs constitués de poutrelles métalliques en treillis, armées dans l'épaisseur de la prédalle. Ces raidisseurs permettent un plus grand écartement des étais lors de la mise en œuvre du plancher. (Elliot POLANIA,2006) Les planchers à prédalles sont principalement utilisés dans le domaine du logement collectif et des bâtiments industriels (parkings, entrepôts, ...). On peut noter l'existence de plancher à prédalles épaisses, dont l'épaisseur représente au moins la moitié de l'épaisseur totale du plancher fini, qui permettent entre autre une pose sans étais. (FIB PLANCHERS,1998)



Photo I.25 : Exemple de plancher à prédalles

2.5. Les poteaux préfabriqués :

La préfabrication des poteaux est quasiment absente dans les pays en voie de développement. La production se fait généralement selon des méthodes traditionnelles, à l'aide d'un coffrage en bois, un béton fabriqué sur place. Des sociétés produisaient ce type de poteaux, mais ont cessé sa production à cause de la rareté et l'absence de la demande en matière de poteaux préfabriqués. Ces poteaux sont fabriqués en usine et liés entre eux au niveau des planchers par des armatures en attente. (CERIB,2005).



Photo I.26: Coffrage métallique pour poteau. (www.bouygues-construction.com)

2.6. Les sous-ensembles « escalier » :

Les escaliers préfabriqués sont des produits intéressants en raison de leur qualité de finition des surfaces inférieures et supérieures et du prix raisonnable. Les escaliers coulés en place traditionnels sont réalisés de façon artisanale, nécessitent une finition à l'aide d'autres matériaux et leur coût réel est souvent sous-estimé. Les escaliers préfabriqués sont d'une extrême précision et présentent des surfaces visibles propres. Leur montage simple permet une progression des travaux rapide. Il existe plusieurs types d'escaliers préfabriqués selon leurs matériaux de fabrication, tel que les escaliers en bois, en métal ou même en verre.



Photo I.27: Les sous ensemble « escaliers » (www.ducôtédechezvous.com)



Photo I.28: Escalier tournant standardisé

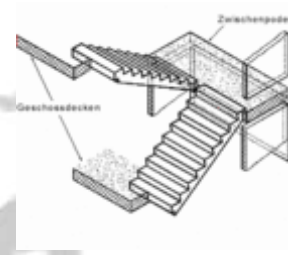


Photo I.29: -Coffrage pour escalier droit.

Escaliers préfabriqués ont plusieurs avantages :

- Adaptées aux souhaits du client.
- surfaces propre de décoffrage, sablés, polies.
- diverses variantes d'appuis.
- économie de temps dans la planification.
- innombrables variantes possibles.

2.7. Les cloisons préfabriquées :

Ce sont les murs intérieurs de la maison. Pour remplir parfaitement cette fonction, les cloisons doivent être:

- Peu épaisses afin d'économiser au maximum la surface intérieure.
- Légères surtout en étage, dans les combles et en cas de rez-de-chaussée sur sous-sol
- Solides pour participer dans certains cas au contreventement.
- Insonores afin d'éviter que les bruits ne se transmettent d'une pièce à l'autre, rendant le repos impossible.
- Isolantes pour faciliter les économies d'énergie (régulation du Chauffage, pièces moins chauffées que d'autre, etc.)

Si l'on doit distinguer les cloisons traditionnelles, des cloisons préfabriquées, il faut toutefois remarquer que même dans les cloisons traditionnelles interviennent des matériaux préfabriqués. C'est uniquement la mise en œuvre qui permet un classement.

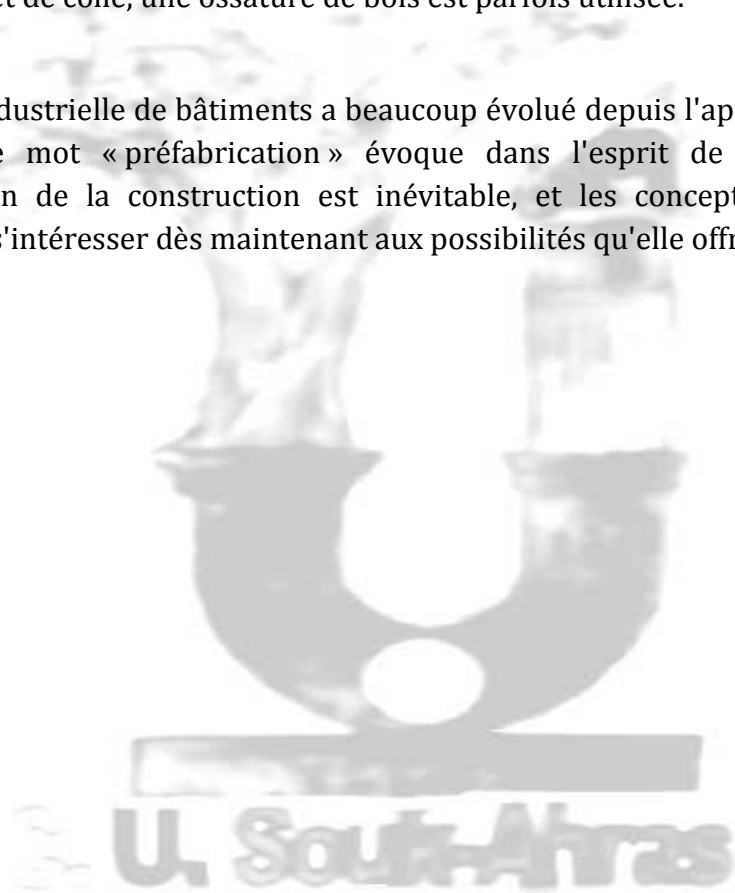
-Les cloisons traditionnelles : La technique la plus traditionnelle consiste à clouer sur des poteaux de bois verticaux, des lattes peu espacées sur lesquelles on applique de part et d'autre du plâtre. L'air étant un isolant parfait, Le plâtre et le bois étant également de bons isolants, la cloison répond à la plupart des obligations.Plus employée est la technique des briques de cloisons assemblées au plâtre puis revêtues de plâtre lissé. Les cloisons de ce type varient avec l'épaisseur des briques et du plâtre posé : en général 8, 12 ou 17 cm pour la brique et 5 cm pour la brique plâtrière. Le creux des briques et le plâtre, la terre cuite elle-même participent à l'insonorisation et à l'isolation. Dans les cas de longues cloisons, on intercale parfois des poteaux d'ossature (métal profilé ou bois). Certaines cloisons traditionnelles sont entièrement à base de bois dans les chalets notamment.(FAUVEL Bruno,2007) Il s'agit de rondins empilés ou de sortes de planchers

posés verticalement avec un rembourrage de laine de verre, de laine minérale ou d'autres isolants.

-Les cloisons modernes : elles sont proches des traditionnelles, étudiées pour une pose rapide et pour leurs qualités isolantes, elles sont réalisées à partir de Carreaux de plâtre. Le joint est à base de plâtre et de colle, une ossature de bois est parfois utilisée.

Conclusion :

La production industrielle de bâtiments a beaucoup évolué depuis l'apparition des chaînes de montage que le mot « préfabrication » évoque dans l'esprit de la plupart des gens. L'industrialisation de la construction est inévitable, et les concepteurs et constructeurs feraient bien de s'intéresser dès maintenant aux possibilités qu'elle offre.



2^{ème} Partie

Les façades

Enjeux et typologies

CHAPITRE-I- GÉNÉRALITÉS ET CONCEPTS.

CHAPITRE-II- LES FAÇADES LÉGÈRES.

CHAPITRE III-LA FAÇADE INTELLIGENTE



Chapitre I
Généralités et
concepts

-Introduction-

Les façades autant qu'enveloppe jouent des rôles différents dans un bâtiment tels que :

- L'aspect architectural de l'édifice.
- Les conditions d'habitabilité.
- La sauvegarde des personnes et des biens.

A cet effet la résistance mécanique est assurée grâce à leur stabilité dans le temps, autre les facteurs de sécurité contre les incendies ainsi que les conditions d'habitabilité et de durabilité des matériaux faisant de ces façades des éléments répondants à plusieurs critères de qualité. Dans ce chapitre, nous allons nous approfondir sur des concepts entrant dans la structure d'un ouvrage « le mur et la façade » ainsi que leurs enjeux.

1. Les notions de mur et de façade :

1.1. Les concepts de mur :

Le mur a toujours été considéré comme un élément architectural fondamental dans l'architecture. Plusieurs définitions du "mur" ont été établies par de nombreux architectes mais leurs définitions restent à notre égard soit trop large soit trop strict ; nous citerons à titre d'exemple ces brèves définitions :

«Le mur est un archétype le plus simple, et tous les espaces seront réalisés à partir des murs. Ils sont les éléments fondamentaux d'une construction, ils restent là car la raison pour laquelle sa forme et sa nature devraient être le sujet de l'expérimentation intense et diverse dans cette décennie moderne.» (Moffett, 1994).

Certaines définitions du mur sont axées davantage sur les fonctions du mur. C'est, notamment, le cas de la définition de Nguyen, D.T(1997):

« Le mur est un élément architectural vertical pour créer des espaces d'une maison, il est également une structure porteuse principale de la maison». Ou la définition de Flusser(1973) : *« Le mur est une paroi de séparation entre les logements et les pièces; il est une frontière entre l'intérieur et l'extérieur, entre l'espace privé et l'espace public.».*

D'autres définitions font davantage référence à l'aspect social du mur. C'est le cas de la définition de l'architecte Léon Battista Alberti qui est représentée dans l'étude de Neumeyer (1999): *«Le mur est efficacement comme la fondation de la société et ainsi accordée la place la plus honorable de l'architecture. Le mur est plus préféré que la colonne, il est une manifestation la plus noble de l'architecture.»*

1.2. Les fonctions et l'expression du mur :

On va présenter en ce qui suit les différents rôles du mur ainsi qu'une description de ses fonctions suite à des définitions présentées précédemment. Dans le domaine de l'architecture, plusieurs questions sont posées sur le rôle du mur. Par exemple chez l'homme : le rôle du mur consiste à définir un espace humain ou un milieu de vie qui combine les fonctions de manger et du travail.

La clôture par des murs crée non seulement un objet dans un espace mais aussi un milieu avec des relations sociales, on abat les murs par l'orientation verticale. Les murs comportent de multitude signification tel :moral, esthétique, personnelle, psychologique. En utilisant la science et la technologie les plus récentes on a pu résoudre le problème de l'éclairage, la ventilation, de la division de pièce grâce à l'analyse du mur en différentes couches, chaque division proposant une fonction différente, par exemple dans le cas du mur de façade des maisons, cette dernière qui est conditionnée par le climat tel l'humidité qu'on gère par un élément important sur le mur de façade qui est : le revêtement extérieur.

Le mur est considéré comme la toile blanche de l'architecture puisque le mur lui-même est un outil puissant utilisé par l'Architecte pour réaliser les buts du client. On conclut, l'expression du mur exprime beaucoup de significations selon ces différents types tel que le mur en pierre : l'épaisseur et la taille de ce dernier sont influencées par les caractères de la pierre, le mur représente aussi les différents types de décoration du bâtiment, par exemple les grandes pierres rectangulaires sont utilisées comme des coins.(Lê Minh NGÔ,2005).



Photo II. 1: Expression d'un mur en pierre. Village Ath Yaala en Kabylie.

1.3. Les concepts de façade :

L'étude du mur et de la façade des bâtiments se croisent mutuellement, il est nécessaire de distinguer entre la façade et le mur de façade. La façade d'une maison est comme une surface du bâtiment qui représente <<un visage>> vivant de la maison, elle fournit des informations et des indices sur la façon d'approprier un espace. Par contre le mur est un élément solide qui crée des espaces d'une maison, ces espaces se trouvent dans le mur de façade qui interprète le rapport entre l'extérieur et l'intérieur de maison.

L'analyse de l'extérieur d'une façade ne permet pas d'étudier les espaces de chaque côté du mur, c'est pourquoi on utilise l'expression :<<mur de façade >> qui abordera la surface extérieure de la façade ainsi que les espaces intérieurs qui composent l'épaisseur du <<mur façade>>. A l'échelle du tissu urbain, le mur urbain est une façade rythmée le long de son développement, par contre la façade urbaine est l'addition d'éléments indifférenciés ainsi que la combinaison d'éléments différents, elle est comme la ville elle-même car elle reflète et donne des différentes couches sociales.(Marie Moignot,1998).



Photo II. 2 : La façade urbaine. Vue générale de la baie d'Alger.

Commençons par la définition de la façade du Robert (1990) :

«Façade est une face extérieure d'un bâtiment où s'ouvre l'entrée principale, donnant le plus souvent sur la rue. [...] Un des côtés, exposé à la vue, d'un bâtiment.»

A l'échelle du bâtiment ; Comme le mur, la façade est un élément architectural essentiel de la signification communicative d'un bâtiment, elle n'est pas seulement un plan mais un espace de transition par rapport au logement.

2. Structure du mur de façade :

La structure du mur de façade sera analysée pour comprendre les caractéristiques des façades de maison, cela se fait en tenant compte de trois organisations différentes :

- l'organisation constructive du mur de façade.
- L'organisation formelle de la façade.
- L'organisation spatiale du mur de façade.

2.1. L'organisation constructive :

L'organisation constructive du mur de façade exprime les techniques de construction et les matériaux du mur de façade. On a deux techniques constructives :

*la technique traditionnelle de construction qui utilise les matières premières de la région comme : l'eau, le sol, le sable....

*la technique moderne de construction : Utilise des nouveaux matériaux, dans ce cas on utilise la structure de poutres et poteaux en béton armé avec un remplissage en brique.

Selon les matériaux, Le mur de brique a plusieurs fonctions, de façade ainsi que comme support pour les éléments de décoration. Les murs se divisent en plusieurs sortes de mur : le mur de brique, le mur en pierre et le mur de bois. Les murs de briques par exemple, sont utilisés par de nombreuses civilisations, car la brique a plusieurs avantages dans la construction, parmi ces avantages :

- Elle est bien adaptée au climat tropical.
- Elle permet de garder une maison fraîche l'été sans climatisation.
- Elle permet d'avoir une maison agréable et économique puisque c'est un produit de construction traditionnelle.



Photo II. 3 : Exemple d'un mur en brique d'une maison kabyle au village Ath yaala.

2.2. L'organisation formelle :

La façade exprime la composition sur le plan bidimensionnel, par rapport à la disposition des éléments constitutifs sur le mur de façade tels que les ouvertures, le toit, le balcon, la dimension de la façade.

A. Les formes et les rapports entre les ouvertures de la façade

La notion d'ouverture dans un mur de façade se définit par la recherche sur les portes et les fenêtres, ces derniers sont deux types principaux d'ouvertures, qui fonctionnent très différemment dans la relation avec l'intérieur et l'extérieur d'une façade, la différence entre ces deux types c'est que : la fenêtre permet de regarder à travers et la pénétration de la lumière, elle annonce le mode de vie des habitants d'un immeuble, il existe différents types de fenêtres, le plus utilisé c'est la fenêtre verticale, on l'a préférée à cause de la largeur limitée de la travée dans un système de poutres et poteaux.

Tandis que la porte qui s'ouvre est déterminée par la relation à ce qui est en dehors.

La fenêtre, pour le monde extérieur, indépendamment de sa forme, de sa dimension et de sa position, sera toujours une expression de l'intérieur. En conséquence, les fenêtres annoncent le mode de vie des habitants d'un immeuble. Il existe différents types de fenêtres. La forme de trou dans le mur est basée sur trois variations: la fenêtre verticale, la fenêtre horizontale, la fenêtre centralisée.

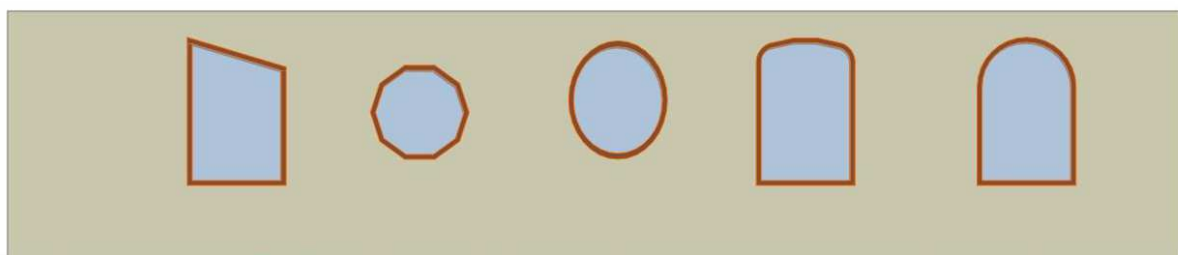


Figure II. 4 : Exemple de formes de fenêtres.

B. L'expression de la fenêtre et de la porte.

L'expression de la fenêtre par la forme possède l'expression du mouvement, la fenêtre est perçue comme une expression de l'expansion intérieure vers l'extérieur. (Lê Minh NGÔ, 2005). On a trois sortes de fenêtres : La fenêtre verticale : lance les mouvements positifs, la fenêtre semble toujours plus légère en raison de son effet levé. La fenêtre horizontale : appelée aussi fenêtre oblongue : encourage le mouvement latéral et suggère un mouvement qui coupe le rapport entre l'intérieur et l'extérieur.

La fenêtre centrale : donne l'expression d'un trou traversé par un mouvement direct de l'intérieur. Dans l'ensemble, la fenêtre est le symbole de ce qui a l'intérieur. la porte qui « s'ouvre » en dehors et déterminée par la relation avec ce qui est dehors, elle décrira la relation de l'intérieure à l'extérieur de la maison indépendamment de sa dimension.

2-3-L'organisation spatiale :

Elle prend compte des éléments dans un espace, les liens entre différents éléments de composition (ligne, forme, couleur, structure). pour former un espace, comme il a été dit dans la définition de Ching (1997) : «L'organisation spatiale représente les éléments qui permettent de situer un objet ou une personne dans un espace donné ou par rapport à un autre objet ou une autre personne.» La composition d'une forme ou d'un espace peut présenter une ou plusieurs caractéristiques qui sont :

- la symétrie pure : c'est-à-dire tout est égal et va de pair dans la composition, les formes et les couleurs.
- la symétrie avec axe vertical (horizontal) :c'est l'égalité des formes, des structures....entre la droite et la gauche.
- l'asymétrie est le caractère d'une composition dont les éléments semblables ou différents sont disposés de façon irrégulière.

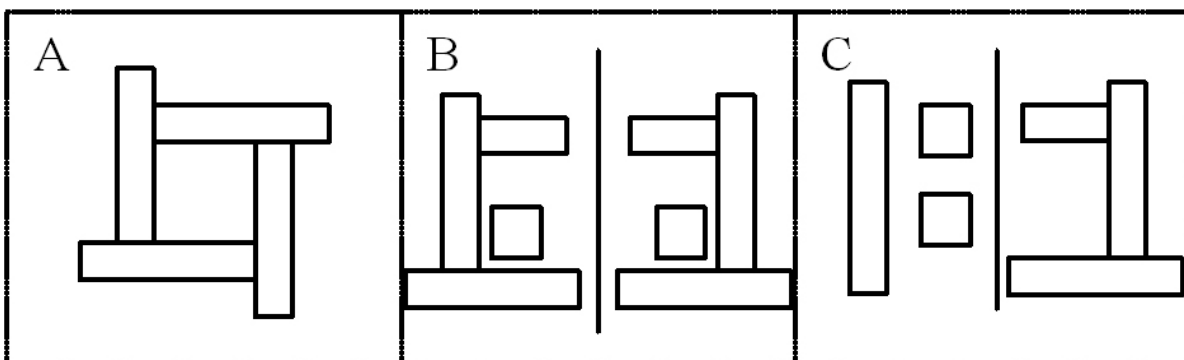


Figure II. 5 : Les caractéristiques de l'organisation spatiale:
A- Symétrie pure; B- Symétrie par un axe; C- Asymétrie.

La répétition consiste à reproduire, un ou plusieurs éléments à l'intérieur d'une composition. L'alternance est une répétition qui est doublée d'un ou de plusieurs aspects de variété, ce sont l'alternance de dimension et l'alternance de pleins et de vides l'alternance de position.

3. Les enjeux :

3.1. Les performances de résistance mécanique :

La performance de résistance mécanique fait que la façade ni aucune partie d'elle ne soit abimée, effondrée ni même détériorée sous l'effet des actions qui la sollicitent occasionnées par le poids propre de la façade, des charges des éléments pouvant être accrochés, des charges d'exploitations, du vent, du changement de température (Mémento technique du bâtiment).

3.2. La résistance aux chocs :

La résistance aux chocs a pour but d'assurer la sécurité des personnes, circulant au pied des immeubles, alors que les éléments de façades sont soumis à des chocs exceptionnels

normalement prévisibles, relevant de l'occupation normale des locaux. Elle porte plus particulièrement sur la bonne tenue des éléments de remplissage et des allèges.

3.3. Stabilité et résistance structurelle :

- aux actions statiques (charges permanentes, charges d'exploitation, déformations thermiques,...).
- aux actions dynamiques (action du vent, efforts dues à l'utilisation, actions accidentels, chocs de corps solides, séismes,...).
- la protection mécanique contre les chocs accidentels doit être particulièrement vérifiée pour les façades accessibles.

3.4. Sécurité au feu :

Il s'agit de la réaction et résistance au feu provenant soit d'un feu intérieur soit d'un feu extérieur voisin, dictées par la réglementation incendie. Sur le plan de la résistance au feu des façades comportant des baies, la réglementation incendie impose d'appliquer une distance minimale en fonction des matériaux utilisés. Dans le cas de façade rideau entièrement vitrée, ce point de la réglementation incendie entraîne des contraintes sur les matériaux à utiliser (résistance au feu accrue). En effet, la distance de ce type de façade est quasiment proche de zéro. (Mémento technique du bâtiment).

3.5. La sécurité à l'utilisation :

La sécurité à l'utilisation consiste à ne pas présenter de risque pour l'occupant dans la limite d'emploi dévolu aux divers équipements. Elle intervient dès la conception des façades et porte sur les points suivants :

- L'utilisation normale des éléments mobiles des façades, châssis ouvrants, portes d'accès, protections solaires...etc. ;
- Les risques de chute accidentelle.
- Les opérations courantes de nettoyage et de maintenance à l'aide de moyens appropriés.
- La présence d'équipements techniques de chauffage ou de ventilation.
- L'incorporation d'installations électriques en allège,

3.6. Les conditions d'habitabilité :

Les façades étant considéré comme des parois extérieures, elles doivent présenter une bonne étanchéité à l'eau et à l'air. Elles prennent également en compte les notions de confort thermique et acoustique, ainsi que l'éclairage naturel et l'ensoleillement afin de fournir des bonnes conditions d'habitabilité. Les conditions d'habitabilité sont améliorées en équipant le bâtiment d'une installation de conditionnement d'air.

3.7. Protections par rapport à l'eau :

L'imperméabilité des murs à l'eau est capitale. En effet, la pénétration de l'eau peut entraîner la dégradation des revêtements intérieurs du mur, des risques d'éclatement des matériaux. Mais la fonction d'imperméabilité contre la pluie n'est en général remplie que partiellement par les revêtements extérieurs des murs. C'est seulement dans le cas de revêtements dits « d'étanchéité » qu'elle est remplie totalement. Ainsi, l'eau ayant pénétré dans les parois est

évacuée par séchage au terme de la période de pluie en gardant pour objectif que l'isolant et le parement intérieur ne soient pas atteints par l'humidité.

En ce qui concerne la protection contre les remontées capillaires, une coupure de capillarité (ou barrière de capillarité) doit être interposée dans l'épaisseur du mur, au-dessus du niveau des terres extérieures (source d'humidité la plus haute) et sous le niveau du plancher bas. Cette coupure est composée d'un matériau étanche (feutre bitumé, résines ou film polyéthylène).

L'étanchéité à l'eau implique qu'il ne doit pas y avoir d'infiltration occasionnant le mouillage par l'eau de pluie de parties non traitées à cet effet, pouvant entraîner leur dégradation.

3.8. Protections par rapport à l'air :

Deux aspects sont à distinguer : l'**étanchéité** de la paroi à l'air (de l'extérieur vers l'intérieur) et la **perméabilité** de chacun de ses matériaux à l'air. La perméabilité à l'air est une qualité des façades, elle permet au mur « de respirer », c'est à dire de se débarrasser, par évaporation vers l'extérieur, des infiltrations provenant des eaux pluviales. Cette perméabilité facilite également la migration de la vapeur d'eau de l'intérieur vers l'extérieur et évite ainsi d'éventuelles condensations dans la masse du mur. (Mémento technique du bâtiment).

3.9. La protection thermique :

En hiver, c'est l'isolation thermique qui a pour rôle de limiter les déperditions calorifiques à travers le mur, de l'intérieur chauffé vers l'extérieur froid. C'est la résistance thermique de la paroi qui caractérise l'importance du flux de chaleur à travers le mur. En d'autres termes, si on augmente la résistance thermique d'une paroi, on abaisse alors le flux de chaleur la traversant.

En été, il s'agit d'assurer une protection des locaux contre les apports calorifiques de l'extérieur dus à l'ensoleillement. Cette protection est obtenue par des parois à forte *inertie thermique* et/ou par la mise en œuvre de protections solaires.

-L'inertie thermique : L'inertie thermique d'un local permet d'absorber l'énergie correspondant aux apports calorifiques et de limiter par conséquence l'élévation de la température intérieure de celui-ci. Toutes les parois périphériques du local (façades, planchers et cloisons) participent à l'inertie. Pour les façades, c'est la masse de la partie du mur située du côté intérieur à l'isolant qui participe à l'inertie et joue le rôle de régulateur (volant thermique) en restituant cette chaleur dans le local lorsque les apports calorifiques extérieurs sont inexistantes (la nuit en particulier).

-L'inertie thermique d'une paroi peut être considérée comme directement proportionnelle à la densité du matériau mis en œuvre. Parallèlement, un tel matériau dense et compact offre en général une bonne résistance mécanique. (Philippe Amadio, 2007)

3.10. Les protections solaires :

Leur but est d'éviter que les rayons solaires atteignent l'intérieur du bâtiment afin de limiter l'échauffement des locaux. Rencontrées avec tous les types de façades, les protections solaires se voient accorder une attention plus grande pour les façades légères du fait de la faible inertie thermique de ce genre de façades : les protections solaires extérieures adaptables sous réserve d'être légères, résistantes et de ne pas créer de gêne acoustique (vibrations,

claquements). Des protections intérieures sont envisageables mais leur efficacité est très limitée. Face à ces inconvénients, les façades légères se voient de plus en plus souvent dotées de protections spécifiques : vitrages teintés, réfléchissants ou absorbants et également des dispositifs pare-soleil, fixes ou mobiles, horizontaux ou verticaux, agissant par leur ombre portée sur la façade.

3.11. La protection acoustique :

Cette fonction est généralement bien remplie par les parties pleines des façades, celles-ci ayant une épaisseur et une densité suffisantes pour affaiblir les bruits aériens extérieurs. Les points faibles se situent au niveau des menuiseries car les vitrages possèdent un faible indice d'affaiblissement acoustique. Par ailleurs, des points particuliers mal traités peuvent diminuer l'isolation acoustique : il s'agit de l'étanchéité dormant/ouvrant des menuiseries, des dispositifs d'entrée d'air (grilles de ventilation), des coffres de volets roulants ainsi que des joints en façades (mauvais remplissage).

3.12. Les relations avec l'extérieur :

a) L'impact d'un bâtiment n'est pas neutre sur son environnement immédiat et particulièrement vis à vis des bâtiments proches. Il convient notamment de veiller aux masques susceptibles d'être créés par la hauteur des volumes à construire et également se soucier des vues entre bâtiments.

b) *En regard de l'éclairage naturel* : les ouvertures en façades permettent notamment l'éclairage naturel des locaux. La position, la dimension et la densité de ces ouvertures est à adapter en fonction de la destination du bâtiment de manière à éviter l'éblouissement des utilisateurs ou au contraire pour favoriser les vues vers l'extérieur. Ainsi, la prise en compte de l'éclairage naturel est différente entre une salle de classe et une chambre d'hôpital, il convient de déterminer de quelle direction doit venir l'éclairage naturel par rapport au « plan de travail » (il s'agit de l'emplacement et de la position de l'utilisateur), de savoir si les vues vers l'extérieur doivent être privilégiées ou plutôt réduites. De la même manière que pour les protections solaires, les études devront simuler l'éclairage naturel du « plan de travail ».

c) *Les occultations* : cette fonction est distincte de la protection solaire, il s'agit ici de masquer totalement l'éclairage naturel dans des locaux particuliers (salles de réunions, locaux de sommeil,...).

d) *La sûreté* : c'est l'aptitude de la façade à résister aux tentatives d'intrusions humaines ou animales. Cette aptitude s'exprime par la difficulté ou l'impossibilité à démonter ou découper les parois extérieures accessibles ainsi que par la mise en place de dispositifs empêchant l'intrusion par les vides de ventilation et les réseaux d'évacuation des eaux.

3.13. Image (esthétique) :

Les revêtements de façade apportent une forte contribution à l'architecture des façades. Leur variété d'aspect et de texture permet ainsi de personnaliser l'extérieur d'un bâtiment soit à l'inverse, en dissimulant la différence de constitution de parties du bâtiment en leur donnant un aspect identique, nivelant ainsi l'aspect général de la construction. Mais cette forte contribution des revêtements de façade à l'architecture ne rend pas pour autant le revêtement obligatoire à l'expression architecturale. Les façades portent aussi les proportions générales du bâtiment ainsi que ces proportions par rapport à celles des bâtiments voisins. Elles offrent des rythmes horizontaux et/ou verticaux par le choix et la disposition des modénatures. Ces rythmes peuvent être également affirmés par la disposition des ouvertures en façade ; le pourcentage d'ouvertures en façade donne au bâtiment une image « transparente » ou au contraire « opaque ». Sur un plan réglementaire, les teintes et les dispositions géométriques du projet doivent également s'inscrire dans les exigences du plan local d'urbanisme concerné (ex plan d'occupation des sols).

3.14. Durabilité et maintenabilité:

Les façades et leurs revêtements jouent un rôle primordial pour la pérennité du bâtiment en particulier lorsque le revêtement participe directement à l'étanchéité de la façade ou au respect du règlement de sécurité incendie. Il convient de s'assurer :

-Que les matériaux utilisés conservent dans le temps leur niveau initial de performances

- Solidité de la mise en œuvre,
- En plus des performances habituelles à atteindre en regard des éléments extérieurs, les matériaux doivent prendre en compte les conditions particulières de l'environnement extérieur : air marin, vent, atmosphère particulièrement chargée en agents chimiques, champignons, mousses, racines, rongeurs,...

-Que les conditions de leur entretien sont rendues possibles par la conception globale de la façade et dans des conditions économiques normales : parois facilement accessibles pour le nettoyage ou le remplacement d'éléments, installation de système d'accrochage de nacelle (ou même d'une nacelle à demeure dans le cas d'immeubles importants) pour l'entretien des façades légères totalement vitrées. S'assurer également que les éléments de revêtements (carrelages, briquettes de parement, vêtements,...) sont aisément remplaçables.

-Que le gestionnaire du bâtiment est bien informé des modalités et de la fréquence d'entretien de ces matériaux.

3.15. Respect de l'environnement:

La qualité environnementale des façades (et des constructions en général) se traduit par une démarche globale intégrant notamment l'utilisation de matériaux et procédés économes en matière première et en énergie pour leur fabrication, de matériaux locaux, de matériaux produisant peu de déchets lors de leur mise en œuvre, de matériaux dont le recyclage est possible après déconstruction. Il n'existe pas pour le moment de certification concernant les produits respectueux de l'environnement. (Mémento technique du bâtiment).

4. Les éléments rattachés :

4.1. Les revêtements :

Les revêtements de façades ont une double fonction de décoration et d'imperméabilisation, ils n'ont pas de fonction porteuse. Les Systèmes techniques parmi les plus utilisés, on peut citer :

- A. **Le doublage extérieur en briques:** cette paroi extérieure est séparée du mur porteur par une lame d'air mais lui est reliée par des attaches de liaison en métal non corrodables (acier galvanisé). A intervalle régulier, un joint vertical entre briques n'est pas rempli afin de permettre la ventilation de la lame d'air et l'évacuation de l'humidité. Ce système est la plupart du temps associé à une isolation extérieure.

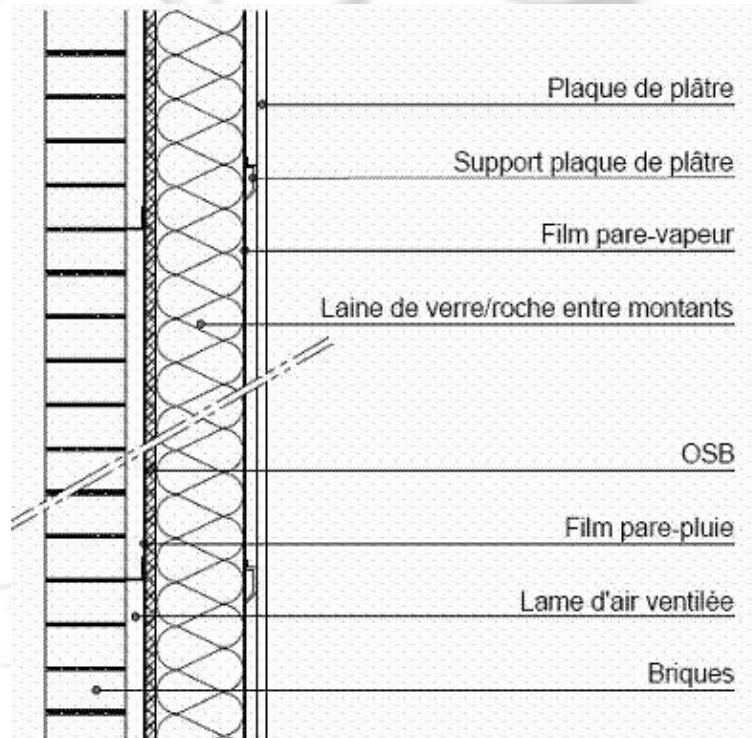


Figure II. 6 : Principe d'un doublage extérieur en brique. (www.clevihome.com)

- B. **Le bardage:** revêtement d'un mur extérieur en éléments manufacturés, généralement minces, de formes et de dimensions diverses, fixés sur une ossature, elle-même accrochée mécaniquement à la paroi support. Entre cette paroi et les éléments est intercalée une lame d'air et/ou un isolant thermique. On trouve notamment des bardages de pierre, de bois, d'ardoise, de plaques de fibre ciment, de tôle d'acier laquée, de verre,... On distingue les bardages à peau extérieure étanche à l'eau des bardages à joints ouverts qui n'assurent pas la même qualité d'étanchéité.(Philippe amadeo,2007).

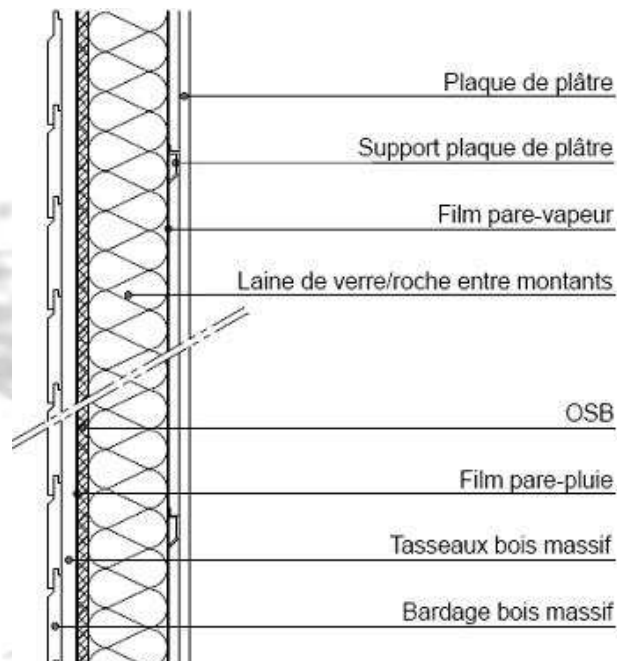


Figure II. 7 : Mur à ossature en bois, Bardage bois horizontal. (www.clevihome.com).

- C. **Les enduits de façades** : ouvrage exécuté sur une paroi extérieure de maçonnerie brute par application sous forme pâteuse ou semi-fluide, en une ou plusieurs couches, d'un produit ou d'un ensemble de produits. On rencontre principalement les enduits traditionnels aux liants hydrauliques, les enduits monocouches livrés prêts à l'emploi et les revêtements plastiques épais.
- D. **Les peintures, lasures et lasures béton**: Alors que la peinture sert seulement à recouvrir un matériau pour le protéger, la lasure est un produit de revêtement et d'imprégnation qui confère aux ouvrages en bois exposés aux intempéries à la fois la protection (hydrofuge, insecticide et fongicide) et la décoration (teinte naturelle ou coloration). Les lasures offrent un aspect « transparent » qui laisse visible les fibres du bois. Par extension, on rencontre également le terme de lasure béton qui caractérise les produits de protection des bétons et présente le même aspect de transparence.
- E. **Les pierres agrafées**: Cette technique consiste à fixer des plaques de pierres à un mur pour donner l'aspect de la pierre à un bâtiment. La pierre se présente sous forme de plaque de surface généralement inférieure au m^2 et d'épaisseur allant généralement de 2 à 4cm. Elles sont fixées à un support par l'intermédiaire d'attaches. La pierre ne joue donc qu'un rôle décoratif et non pas un rôle de paroi étanche à l'air ou à l'eau. L'atout principal de cette technique est la réduction du coût par rapport à une maçonnerie en pierre massive tout en donnant un aspect similaire au bâtiment. Certains types de pierre ne peuvent pas être débités en plaque mince comme certaines catégories de pierre calcaire. Par contre, les granits et les marbres ne posent pas de soucis. (Mémento technique du bâtiment).

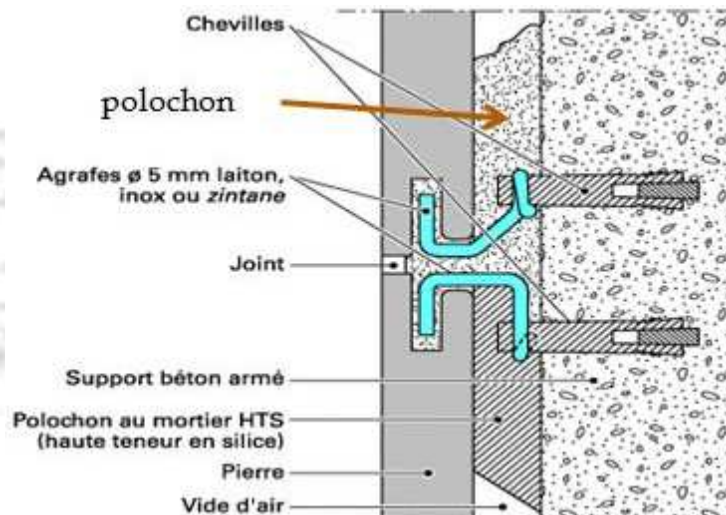


Figure II. 8 : Principe de pierre agrafée.(Philippe Amadio,2007)

- F. **Vêtire et vêtage** : Il s'agit de systèmes non-traditionnels d'isolation extérieure à base de composant associant un parement et un isolant. Isolant employé - Polystyrène expansé moulé en densité 13 à 20 kg/m³ dans la plupart des cas. Laines de roche de forte densité (90 à 150 kg/m³), polystyrène extrudé et mousse polyuréthane plus rarement.(Philippe Amadio ,2007) Revêtements possibles - Les matériaux utilisés en peau externe sont similaires à ceux des bardages rapportés : métal laqué, aluminium, plaques céramiques, ardoise, fibre ciment, PVC, bois... Il est possible également de réaliser des enduits ou des mortiers hydrauliques directement sur l'isolant. Mise en œuvre - Les composants, dont les chants sont en général à profils d'emboîtement mâles femelles, sont fixés mécaniquement à la structure porteuse, en principe sans ossature intermédiaire, à l'aide de fixations traversantes (vis et chevilles), de pattes d'ancrage ou de profilés supports.

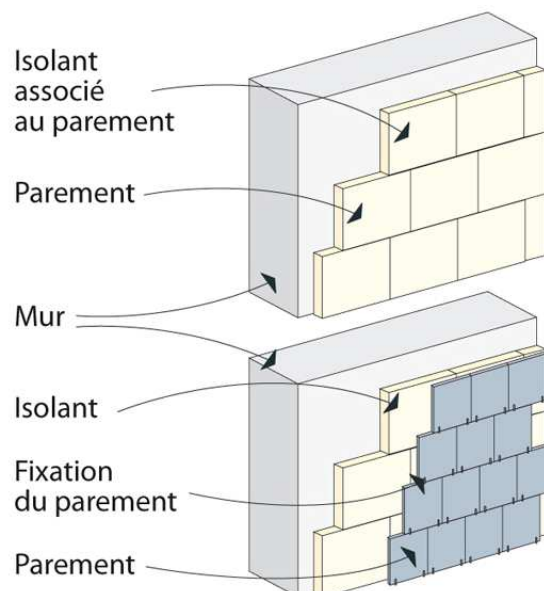


Figure II. 9 : Exemple d'un parement.(Philippe Amadio,2007).

G. Les vitrages extérieurs collés (VEC) et les vitrages extérieurs attachés (VEA) :

-Le VEC est une technique particulière de mise en œuvre des vitrages par un collage périphérique épais du verre sur un profilé support, la plupart du temps en aluminium. Le collage est réalisé à l'aide de mastics adhésifs et élastomères favorisant le libre jeu des dilatations.(CSTB,2007).

-Le VEA, consiste à maintenir le vitrage par des dispositifs de fixation mécanique ponctuels traversant ou non.(CSTB,2007).

Ces techniques permettent de conserver une ossature traditionnelle de façade légère et présentent surtout un intérêt esthétique puisqu'elles permettent de réaliser de grandes façades à parement plan et continu.

4.2. Les systèmes d'isolation thermique :

A. L'isolation intérieure:

L'isolant est placé du côté intérieur de la partie porteuse ou du remplissage maçonné de la façade, qui doit être étanche à l'eau. C'est la technique la plus couramment employée parce que c'est la moins coûteuse et la mieux maîtrisée par les acteurs du bâtiment.

-Systèmes techniques les plus fréquemment rencontrés : (Kinda Hannawi,2005)

- Le complexe de doublage composé d'une plaque de plâtre cartonnée et d'un isolant contrecollé en usine, parfois d'un pare-vapeur. Ce complexe est disponible en épaisseur variable de 30 à 130 mm, et permet de poser en une seule fois, par collage, l'isolant et le parement sur le mur support.
- Sur la coupe ci-dessous, de gauche à droite : le mur support puis le complexe de doublage (isolant + plaque de plâtre cartonnée).

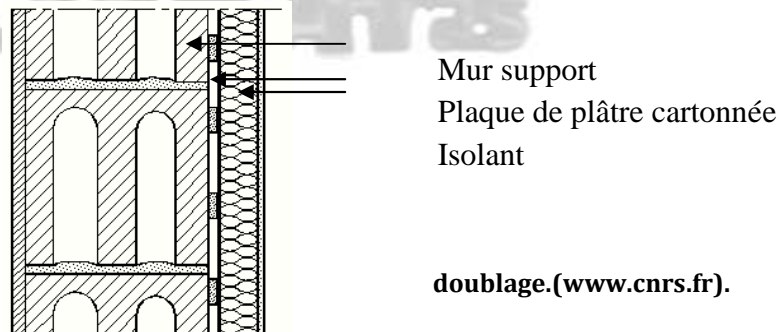


Figure II. 10: Système de

Un isolant fixé sur la partie intérieure du mur et une contre-cloison intérieure, généralement en carreaux de plâtre ou parfois, pour certains locaux spécifiques (prescriptions sanitaires), en briques creuses enduites au ciment. Sur la coupe ci-dessous, de gauche à droite : le mur support, l'isolant puis la contre-cloison

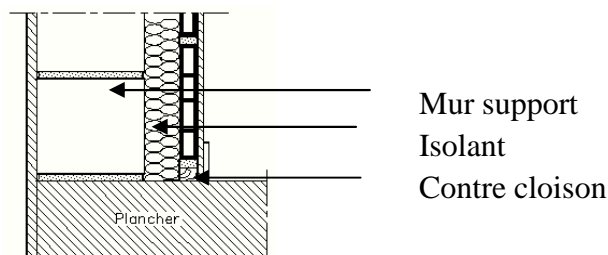


Figure II. 11: Coupes de principe.(www.cnrs.fr).

En réhabilitation, pour redresser les murs qui ne permettent pas de coller un complexe de doublage: une ossature métallique de cloison comprenant un isolant dans son épaisseur et une fermeture côté intérieur par une plaque de plâtre cartoné, avec ou sans pare-vapeur.

B. L'isolation extérieure :

L'isolant est placé côté extérieur de la partie porteuse ou du remplissage maçonné de la façade. Il devra être protégé des agents extérieurs par une peau de finition ménageant ou non une lame d'air avec l'isolant. Lorsque la peau de finition est elle-même une maçonnerie, comme d'un mur double qui est caractérisé par sa facilité de réparation, facilité d'entretien, résistance au vent, étanchéité, tenue aux chocs, comportement en cas d'incendie, résistance thermique .

-Systèmes techniques les plus fréquemment rencontrés :

- Les systèmes à enduit mince : un isolant polystyrène est collé et/ou fixé sur la maçonnerie support, suivi d'une ou deux nappes de toile de verre encollées sur cet isolant, puis d'un enduit mince. Ce système est le moins coûteux mais nécessite un entretien ultérieur.

Avantages	Inconvénients	Points de vigilance
<p>-L'isolation extérieure laisse la paroi intérieure à une température sensiblement constante, supprimant les chocs thermiques et les pathologies qui en découlent.</p> <p>-En réhabilitation, les systèmes d'isolation extérieure traitent nombre des pathologies des façades existantes.</p> <p>-En réhabilitation ils peuvent également permettre d'améliorer l'image d'un bâtiment.</p> <p>-Ne consomme pas de surface intérieure par rapport à la surface de plancher crée.</p> <p>-En bâtiment neuf :supprime tous les ponts thermiques. En réhabilitation supprime les ponts thermiques au droit des refends et planchers.</p>	<p>- Coût élevé quel que soit le système choisi. L'importance des détails à traiter augmente encore fortement ce coût ;</p> <p>- Une inertie importante de la façade est un inconvénient pour des bâtiments au chauffage très intermittent ;</p> <p>- En réhabilitation : augmente parfois les coûts d'entretien ultérieur par rapport à la situation initiale.</p>	<p>-Toujours utiliser des couleurs claires pour les systèmes collés à enduit mince ainsi que pour les vêtages et vêtures dont l'isolant est en polystyrène ;</p> <p>- S'assurer pour les bardages, vêtages et vêtures que le remplacement d'un élément endommagé est facilement possible - -Les systèmes d'ossature et de fixation de la peau extérieure doivent être correctement étudiés et avoir une durabilité au moins équivalente à celle du matériau de peau lui-même afin d'éviter la intérieure par rapport à la surface de chute d'éléments en pied de façade ;</p> <p>- Vérifier par partie de bâtiment que le classement revêtir du système est en adéquation avec le contexte.</p> <p>-S'assurer avant le démarrage des travaux que tous les détails architecturaux ont été pris en compte (carnet de détails)</p>

<p>-Inertie très importante de la façade, confort d'été</p> <p>-pas ou peu de gêne en réhabilitation des locaux occupés.</p>		<p>-Attention à la résistance aux chocs de la façade accessible dans les zones de circulation.</p> <p>-Protéger les pieds de façade des éclaboussures (plutôt des pavés que la pelouse à la périphérie des bâtiments).</p>
--	--	--

Tableau 1 : Avantages et inconvénients de l'isolation extérieur. (www.pointp.fr).

. L'isolation répartie:

C'est l'ensemble de la paroi qui assure son isolation thermique : un élément lourd (la brique ou le béton) est associé à un élément léger, l'isolant.

-Systèmes techniques les plus fréquemment rencontrés :

- Les blocs isolants manufacturés qui sont constitués d'une tranche de polystyrène enfermée entre deux briques symétriques ou non, et fixée par tenons et mortaises, et collage.

Dans le domaine de la maçonnerie, seule la brique G (du type Monomur) permet, dans les cas les moins défavorables, de réaliser l'isolation sans adjonction d'un isolant spécifique : c'est l'air, enfermé dans les nombreuses perforations de la brique et relativement immobile, qui contribue à la résistance aux déperditions thermiques. Sont également catégorisées dans les murs à isolation répartie les façades légères industrialisées ou les façades des systèmes constructifs à ossature bois ou métallique dont l'inertie est très faible.

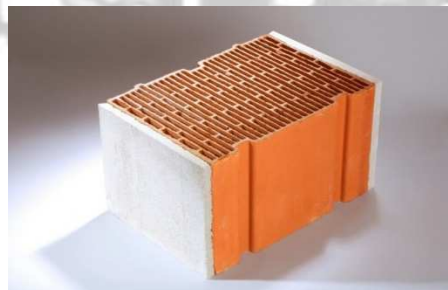


Figure II. 12 : exemple de brique monomur. (www.sturm.fr/monomur.htm).

-Utilisation :

Avantages	Inconvénients
<p>- Permet d'éviter les ponts thermiques s'il est bien utilisé et correctement mis en œuvre.</p> <p>- Procure une bonne inertie thermique.</p>	<p>- Blocs isolants : lorsque le stockage a été mal réalisé, il arrive que le polystyrène soit abîmé ; cela entraîne des interruptions de la couche isolante.</p> <p>- Blocs isolants : la réalisation de murs porteurs avec ces blocs est limitée à 3 niveaux.</p> <p>- Briques G : la mise en œuvre est délicate et doit être soignée afin que les joints ne forment pas de ponts thermiques.</p>

Tableau 2 : Avantages et inconvénients du bloc isolant. (Mémento technique du bâtiment).

4.3. Les menuiseries extérieures :

A. Définitions :

Le terme menuiseries extérieures regroupe les fenêtres d'un bâtiment mais également ses portes d'accès. Les menuiseries extérieures peuvent être situées soit au « nu intérieur » de la façade, soit au « nu extérieur » selon que la menuiserie est placée en applique de la face interne du mur ou en applique de sa face externe. L'une ou l'autre disposition a les particularités suivantes :

Situation	Avantages	Inconvénients
-Au nu intérieur :	<ul style="list-style-type: none"> - Solution la plus courante et, donc, la mieux maîtrisée ; - Avec une isolation intérieure, il n'y a pas de pont thermique entre la façade et la fenêtre ; - Donne plus de relief à la façade ; - Réduit l'entretien car la menuiserie est partiellement protégée par les ébrasements extérieurs. 	<ul style="list-style-type: none"> - Donne plus de relief à la façade.
-Au nu extérieur :	<ul style="list-style-type: none"> - Avec une isolation extérieure, il n'y a pas de pont thermique ; - Façade d'aspect plan, sans reliefs. 	<ul style="list-style-type: none"> - Solution moins courante sauf pour les façades légères ; - Façade d'aspect plan, sans reliefs ; - Plus d'entretien et durabilité plus faible car la menuiserie est plus exposée.

Tableau 3 : Avantages et inconvénients de la disposition de la menuiserie extérieure. (Mémento technique du bâtiment).

B. Les matériaux




Matériaux	Avantages	Inconvénients
-La bois	<ul style="list-style-type: none"> -Produit naturel. -Bon marché -Aspect et sensation naturels et chaleureux -Bonne performance en termes d'isolation thermique. -Peut toujours être repeint. 	<ul style="list-style-type: none"> -Entretien régulier nécessaire (lasure, peinture) - Produit naturel et donc, risques accru d'imperfection (petites veines, trous d'insectes) - Il est difficile pour un profane de connaître les différents types de bois ;il peut être facilement abusé pas un installateur peu scrupuleux. -Le bois fournis peut différé du bois commandé (tous les arbres sont uniques)
-Le PVC	<ul style="list-style-type: none"> - Bon marché. - Bonne performance en termes d'isolation thermique. -Absence d'entretien. 	<ul style="list-style-type: none"> -Profilés plus épais que le bois ou l'aluminium. -Peu adapté aux grandes baies vitrées ou sa plus faible résistance mécanique impose des montant épais. -Cette faible résistance mécanique écarte son emploi pour les portes d'entrées fortement sollicitées. -Coefficient de dilatation élevé. -Les profilés peuvent être améliorés au moyen de renfort d'acier galvanisé. -Aspect artificiel.

		-Les formes courbes ne sont pas aussi faciles qu'avec le bois.
-L'aluminium	-Inaltérable lorsqu'il est protégé. - Absence d'entretien. -Bien adapté aux grandes baies. -Résistance mécaniques élevés.	-Cout élevé. -Faible valeur isolante sauf pour les modèles à rupture de ponts thermiques. - Formes courbes difficile à obtenir.

Tableau 4: Avantages et inconvénients de la menuiserie extérieure selon les matériaux. (Dicobat).

C. Les principaux systèmes d'ouverture:

De nombreux systèmes d'ouvertures existent, ils comportent chacun une représentation symbolique normalisée que l'on retrouve sur les plans. On peut citer entre autre :

Type d'ouverture	Avantages	Inconvénients
- A la française : s'ouvre vers l'intérieur, axe d'ouverture vertical. Le plus courant en France. 	-Facile à nettoyer.	-Tout ce qui se trouve devant le fenêtre doit être retiré lors de l'ouverture.
- A soufflet : s'ouvre vers l'intérieur, axe d'ouverture horizontal au niveau de la traverse basse. 	-Peuvent être ouvertes sans qu'il pleuve à l'intérieur.	-Pas de grande ouverture possible (impossible de s'échapper en cas d'incendie) ; -Difficiles à nettoyer.
- Oscillo-battant : cumule l'ouverture à la française et l'ouverture à soufflet. 	- L'écart de prix par rapport aux fenêtres à la française est peu important.	-
- Basculantes : s'ouvre à demi vers l'intérieur et à demi vers l'extérieur, 	- Faciles à nettoyer ; - L'ouverture ne gêne pas l'utilisateur.	- En RDC : risque que la fenêtre, intercepte quelqu'un ou quelque chose lors de son ouverture. Éviter de les placer le long des circulations extérieures.



<p>- Coulissante : s'ouvre par translation d'un vantail sur l'autre.</p> 	<p>- intéressant pour les voiles et tenture ; - Ne prennent pas de place lorsqu'elles sont ouvertes.</p>	<p>- Performances d'étanchéité plus difficiles à obtenir - Impossible de l'ouvrir sur toute la surface de la baie ; - Nettoyage malaisé.</p>
<p>- Fixe</p> 	<p>- Ne s'ouvre pas. - Intéressant au niveau de l'acoustique et de la sécurité.</p>	<p>- Ne s'ouvre pas.</p>

Tableau 5: Principaux systèmes d'ouverture. (Dicobat).

D. Les vitrages :

On rencontre le plus souvent les doubles vitrages ; ils sont assemblés hermétiquement avec un espace d'air déshydraté. Ex. : un double vitrage 4/6/4 (14 mm) est composé d'un vitrage de 4mm + une lame d'air de 6mm + un vitrage de 4mm. L'épaisseur de la *lame d'air* varie entre 6 et 20mm ; elle influe assez peu sur l'isolation acoustique mais prend toute son importance pour l'isolation thermique. (valeur $U = 3,3$ à $2,9 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$).

Par convention, les faces d'un double vitrage sont numérotées de 1 à 4 à partir de l'extérieur, cela permet de désigner ou positionner la ou les faces réfléchissantes ou filtrantes d'un vitrage isolant. Le double vitrage a reçu un traitement, qui permet un renforcement appréciable de l'isolation thermique et supprime la sensation de paroi froide ; il laisse passer la lumière du soleil et retient la chaleur présente à l'intérieur d'une pièce (valeur $U = 1,9$ à $1,7 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$). (Cătălin Grigoraș*, Theodor Mateescu, Cătălin Popovici Et Nelu-Cristian Cherecheș, 2011).

En matière d'isolation acoustique, une plus grande épaisseur des feuilles de verre améliore les performances. Des feuilles de verre d'épaisseur différente (par ex. 4/12/6) améliorent également l'isolation acoustique. Le verre de sécurité diminue les risques d'effractions et de blessures en cas d'impact. On peut en distinguer trois types : le verre feuilleté qui ne fait pas d'éclats en cas de bris de la vitre, le verre armé (renforcé par des filaments de fer) qui est peu esthétique et le verre trempé qui a subi un traitement thermique spécial et est surtout utilisé pour le mobilier (tables) mais rarement pour les fenêtres.

E. Quelques cas particuliers :

-La fenêtre rénovation :

Elle est utilisée lors de travaux de réhabilitation ; il s'agit d'une fenêtre de remplacement en PVC posée en conservant le bâti dormant de l'ancienne fenêtre. Ce principe de pose permet d'éviter les dégradations de maçonnerie et de peinture dues à la dépose et offre d'excellentes garanties d'étanchéité et de fiabilité à la condition impérative de vérifier l'état du bâti à conserver, de bien traiter les étanchéités (bavettes de recouvrements, joints, etc...) et de

permettre la ventilation du dormant en bois conservé afin d'éviter qu'il ne pourrisse. Cette fenêtre a l'inconvénient de réduire la surface vitrée et donc l'éclairage naturel.

-La fenêtre dynamique :

Les fenêtres des bâtiments sont souvent très pénalisantes au niveau du bilan thermique. Le procédé de l'isolation dynamique permet au contraire de rendre ces surfaces actives contre les déperditions. Une telle fenêtre s'intègre parfaitement dans un projet d'architecture bioclimatique . Ces systèmes sont aussi appelés "parois vitrées ventilées".

-Trajet de l'air : L'air neuf extérieur pénètre en partie haute du châssis, circule et se réchauffe entre les vitrages au travers de profilés perforés et entre dans le local en haut du cadre. La vitre extérieure est fixe tandis que les vitres médiane et intérieure sont montées sur des ouvrants. Cette disposition est destinée à permettre le nettoyage des faces internes des vitrages salies par la circulation de l'air.

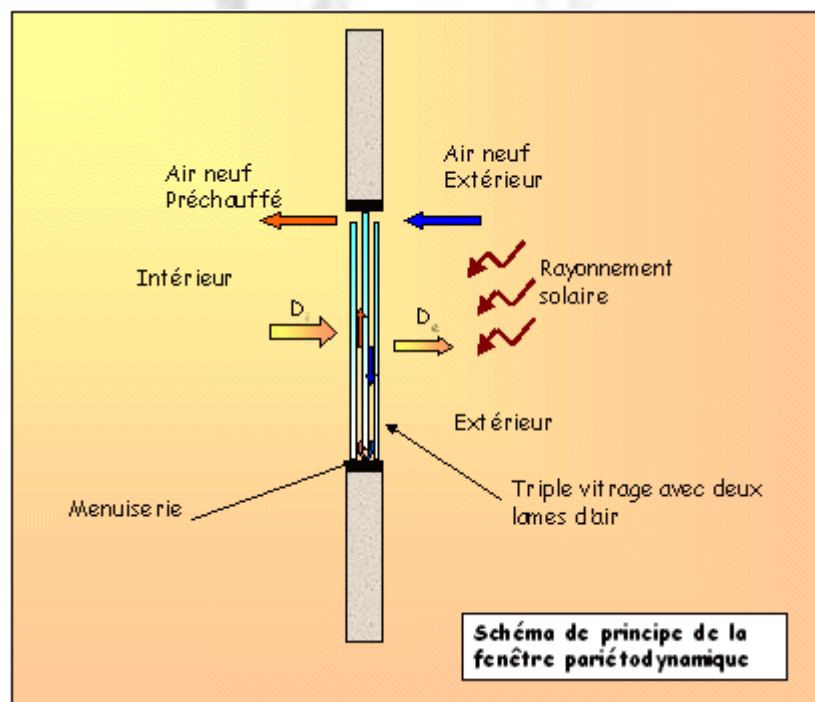


Figure II. 13 : Schéma de principe de la fenêtre dynamique. Source ;Traité d'architecture bioclimatique.

-Ses avantages :

- Un faible coefficient de déperdition (U variant entre 0,8 et 0,5 $W/m^2 \cdot ^\circ C$). (Traité d'architecture bioclimatique,
- Un affaiblissement acoustique accru par l'amortissement de la propagation du son par la circulation de l'air en double chicane et la présence de 3 vitres ;
- Compatible avec tous les systèmes de ventilation (VMC, naturelle, hygroréglable,...).

-Ses inconvénients :

- Un surcoût par rapport aux menuiseries classiques qui est cependant limité aux fenêtres des pièces sèches, celles des pièces humides restant traditionnelles.
- Le nettoyage, nécessaire une à deux fois par an, des faces internes salies par la circulation de l'air.
- Un seul matériau, le PVC, est disponible actuellement. L'utilisation du bois ou du métal est cependant à l'étude.

-Le fonctionnement permanent de la ventilation mécanique est nécessaire afin d'éviter l'apparition de condensation à l'intérieur du vitrage.

-Le bloc-baie (ou bloc-fenêtre) est un ensemble préfabriqué comportant le bâti dormant avec ses pattes de scellement, le ou les châssis ouvrants, leurs ferrures et condamnations, l'habillage des ébrasements et parfois leur système d'occultation (volet roulant, store,...).

Durant son passage dans les deux lames d'air, l'air se réchauffe car :

-il récupère une part des déperditions thermiques,

-il profite du rayonnement solaire grâce à l'effet de serre dû au vitrage.

La nuit, si un volet roulant est fermé en laissant une ouverture en partie basse, une troisième lame d'air est créée. Ainsi, la paroi vitrée ventilée peut encore fonctionner correctement ; l'efficacité est améliorée par rapport à un fonctionnement nocturne sans volet. L'effet de ce dispositif peut aussi être amélioré par l'usage de vitrages peu émissifs. Ce type de fenêtre n'intervient pas seul. Pour contrôler le passage de l'air, l'installation de ces fenêtres est en général associée à une ventilation mécanique contrôlée (VMC).



Chapitre II
Les façades
Légères



-Introduction-

Les façades légères font partie intégrante du système enveloppe d'une construction, elles sont constituées par l'assemblage de plusieurs éléments, montants, traverses, châssis vitrés et panneaux de remplissage, afin d'habiller l'ossature d'un bâtiment, selon un principe modulaire. (Marie Moignot,1998). Jouant le même rôle que les façades traditionnelles, elles sont exposées simultanément à l'ambiance intérieure et aux conditions atmosphériques extérieures. De ce fait, elles subissent des contraintes importantes. Les matériaux qui les composent doivent être aptes à résister aux diverses sollicitations auxquelles elles sont soumises ainsi qu'aux agressions chimiques ou autres.



Figure II. 144: Exemple d'un mur rideau.(www.gramme.be).

1. Définition de la façade légère :

Une façade légère est une façade constituée d'une ou plusieurs parois, Lorsque l'ossature d'un bâtiment est constituée par des transversaux ou des points porteurs, deux solutions peuvent être proposées en alternative au remplissage des façades par de la maçonnerie :(Jean-Pierre LOUSTAU, 2006)

- Soit l'ouvrage est habillé d'une façade légère
- Soit les vides laissés entre les éléments structurants sont fermés par des panneaux de façade.

Une relation étroite existe entre le principe constructif de la structure porteuse et la nature des façades légères. Les façades légères constituent un élément généralement vertical, de l'enveloppe du bâtiment. Séparant les espaces intérieurs de l'ambiance extérieure, elles sont particulièrement adaptées aux structures porteuses ponctuelles, qu'elles soient en béton armé, en acier ou en bois.

Les façades légères sont caractérisées par :

- Une masse faible presque toujours inférieure à environ 100 kg/m^2 à comparer à plus de 200 kg/m^2 des parois opaques de façades réalisées en maçonnerie, en béton.(www.gramme.be).

- L'utilisation de produits manufacturés généralement dotés de parements finis.
- Les façades légères sont portées par la structure d'un bâtiment en béton, en métal, ou en bois. Cette structure s'appelle ossature primaire.
- Leur fonction non porteuse : elles ne concourent pas directement à la stabilité du bâtiment.
- Leur faible épaisseur
- Leur fixation au nu extérieur de la structure du bâtiment par l'intermédiaire d'une ossature secondaire assurant la transmission des diverses charges (poids propre, surcharges accidentelles) et de la pression du vent à la structure porteuse.
- Leur composition par l'assemblage d'éléments raccordés entre eux à l'aide de joints autorise une libre dilatation des composants.

2. La classification des façades légères :

Les façades légères sont classées en fonction de leur position par rapport à l'ossature de la construction : le nez du plancher et les ouvrages verticaux, murs de refend ou poteaux. (Kinda hannawi,2005-2006) Elles sont réparties en quatre grandes familles : la façade rideau, la façade semi rideau, la façade panneaux et le bardage. Le choix d'un principe a une influence non négligeable sur l'aspect architectural du bâtiment selon le rythme de la trame, la structure porteuse étant apparente ou non. L'aspect des façades permet de les classer de la manière suivante :

- La façade maillée : type même de la façade rideau, où les lignes verticales et horizontales sont légèrement accentuées par les profilés de l'ossature secondaire.
- Façade à meneau dans laquelle les voiles porteurs sont en saillie, faisant ressortir les lignes verticales.
- Façade en bande, les planchers venant en saillie pour marquer les lignes horizontales.
- Façade bardage dans laquelle le rythme est donné par le relief du bardage.
- Façade plate, où aucun élément n'est en saillie par rapport au nu de la peau extérieure ; c'est le cas des façades des verres (VEC ou VEA).

2.1. La façade rideau :



Photo II.15 : Mur rideau.(www.gramme.be).

A-Introduction :

Les murs rideaux en verre-métal sont de plus en plus répandus en architecture moderne. Ils se distinguent aisément des autres types de revêtement par leur mince ossature de supports horizontaux et verticaux en métal autour d'un panneau entièrement composé de verre ou de métal. Les murs rideaux ont évolué rapidement au cours des deux dernières décennies, surtout en ce qui concerne leur tenue aux intempéries. (R.L. Quirouette,1982) Au début, la pénétration des eaux de pluie était un problème fréquent; de gros glaçons se formaient sur les supports horizontaux extérieurs ou de la condensation apparaissait sur les surfaces intérieures; la garniture d'étanchéité des vitrages doubles était parfois expulsée par effet de pompage. Toutes ces difficultés ont pu toutefois être surmontées grâce à une meilleure conception des éléments du système. À l'heure actuelle, la plupart des fabricants de murs-rideaux offrent tout un choix de produits de qualité qui permettent d'exécuter un des meilleurs revêtements extérieurs.

Il reste assez difficile cependant, d'assurer une performance égale ou même convenable à la jonction entre le mur-rideau et le reste du bâtiment. Il subsiste de nombreux problèmes causés par les intempéries au niveau des parapets, des soffites, des angles et du sol. En plus de la pénétration des eaux de pluie et des cycles de gel-dégel reliés à la condensation dissimulée, l'air frais s'infiltré dans les soffites, provoquant le gel des tuyaux de drainage, des tuyaux à vapeur et des réseaux d'extincteurs automatiques. Les glaçons qui se forment au rebord des toits représentent souvent un danger pour les piétons.

B-Qu'est-ce qu'un mur-rideau?

Le mur-rideau a modifié l'architecture des constructions à ossature : au remplissage traditionnel des vides laissés par l'ossature, s'est substitué un revêtement léger, fabriqué industriellement, posé sur le devant de l'ossature, entourant le bâtiment ... comme un rideau. (R. Schall, 1966).

Un mur-rideau est un revêtement extérieur léger qui est fixé à la charpente d'un bâtiment et s'étend généralement d'un étage à l'autre. Son aspect peut varier, mais il est caractérisé par des supports verticaux et horizontaux rapprochés entourant des panneaux de remplissage en verre ou en métal. Il fournit un revêtement extérieur fini et, le plus souvent, un revêtement intérieur semi-fini. Les murs-rideaux s'adaptent aussi aux fléchissements de la charpente, s'opposent à la pluie poussée par les vents et aux fuites d'air, minimisent les effets du rayonnement solaire et assurent une bonne performance de longue durée sans entretien. De nombreux murs-rideaux actuels sont constitués d'aluminium, mais il en existe aussi en acier.

Il se caractérise comme suit :

- Il est fixé sur la face externe de l'ossature porteuse du bâtiment (ou squelette).
- Son poids propre et la pression du vent sont transmis à l'ossature par l'intermédiaire d'attaches.
- Il est formé d'éléments raccordés entre eux par des joints. On réalise ainsi une surface murale continue, aussi grande qu'on le désire.

La façade rideau est une façade légère constituée d'une ou plusieurs parois passant entièrement en avant du nez de plancher. Deux types de façades rideau peuvent être réalisés :

- *La façade rideau intégrale*, ou le mur rideau, passe devant la structure porteuse du bâtiment, horizontale et verticale. Elle habille l'ensemble de l'ossature du bâtiment. Les liaisons avec celle-ci se trouvent à l'intérieur de l'enveloppe. De ce fait, les risques d'infiltrations, de perméabilités à l'air et les ponts thermiques sont moindres. Il n'en est pas de même au niveau de l'isolation acoustique entre les locaux, les calfeutrements devant être particulièrement soignés,
- *La façade rideau verticale* passe devant le nez des planchers ; elle est interrompue par la structure verticale, murs de refend ou poteaux. L'architecture est à dominante verticale. Les liaisons avec l'ossature horizontale sont à l'intérieur de l'enveloppe ; elles possèdent les mêmes caractéristiques que celles de la façade rideau intégrale. Les liaisons avec l'ossature verticale sont en dehors de l'enveloppe ; elles ne sont pas protégées des intempéries. Les calfeutrements correspondants doivent être traités avec soin afin d'éliminer les risques d'infiltration, la perméabilité à l'air et les ponts thermiques ; l'isolation acoustique entre locaux voisins pose pas de problème.

C-Principes de conception d'un mur extérieur

Au sens large, l'enveloppe d'un bâtiment est un ensemble d'éléments reliés entre eux qui servent d'écran entre l'intérieur et l'extérieur. Ces éléments englobent les murs extérieurs, la toiture, les fenêtres et les portes, et parfois les planchers à découvert. L'enveloppe d'un bâtiment a pour fonction de s'opposer à la pénétration de la neige, du vent, de la pluie et du soleil tout en assurant les conditions intérieures souhaitées. L'enveloppe doit satisfaire de nombreuses exigences, dont six seront mentionnées ici:

- Limiter l'écoulement d'air,
- Limiter l'écoulement thermique,
- Limiter la pénétration de la neige et de la pluie,
- Limiter les effets du rayonnement solaire et autres formes d'énergie radiante,
- Limiter la diffusion de la vapeur d'eau,
- S'adapter aux mouvements du bâtiment.

La plupart des murs-rideaux sont étanches à l'air et préviennent donc les fuites d'air à cause des propriétés intrinsèques du verre et des tubes d'acier ou d'aluminium. La continuité de l'écran pare-vent (figure 1) est assurée par la continuité entre le panneau de verre, la garniture d'étanchéité à l'air aux épaulements du support tubulaire, l'élément en aluminium et l'épaulement suivant. La garniture d'étanchéité à l'air entre l'épaulement inférieur du support et le coffrage métallique du panneau-tympan assure la continuité de l'écran pare-vent jusqu'au prochain support. Ce genre de système est mis à l'essai régulièrement sous pression d'air afin de déterminer les propriétés structurales du verre, du métal et des garnitures, ainsi que l'aire de fuites équivalente. De plus, l'Association des fabricants d'aluminium architectural impose à ses membres plusieurs autres exigences, dont celle qui prévoit des fuites maximales de 0,30 l/s par m² (0,06 pcm par pi²) de mur pour une différence de pression qui correspond à un vent de 40 km/h. (R.L. Quirouette, 1982)

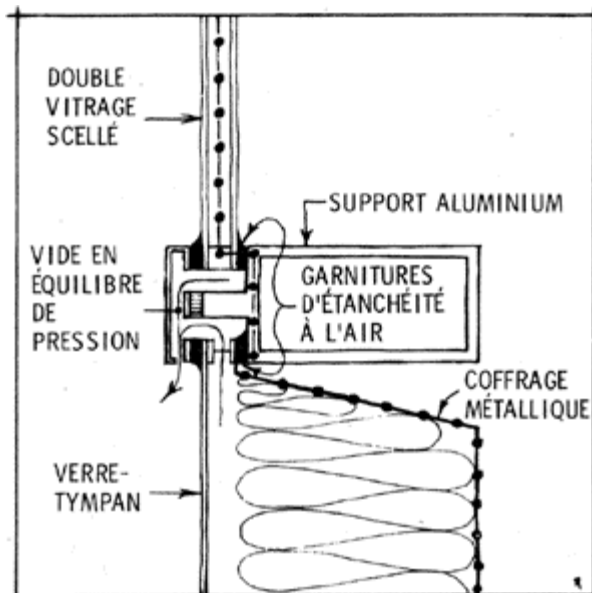
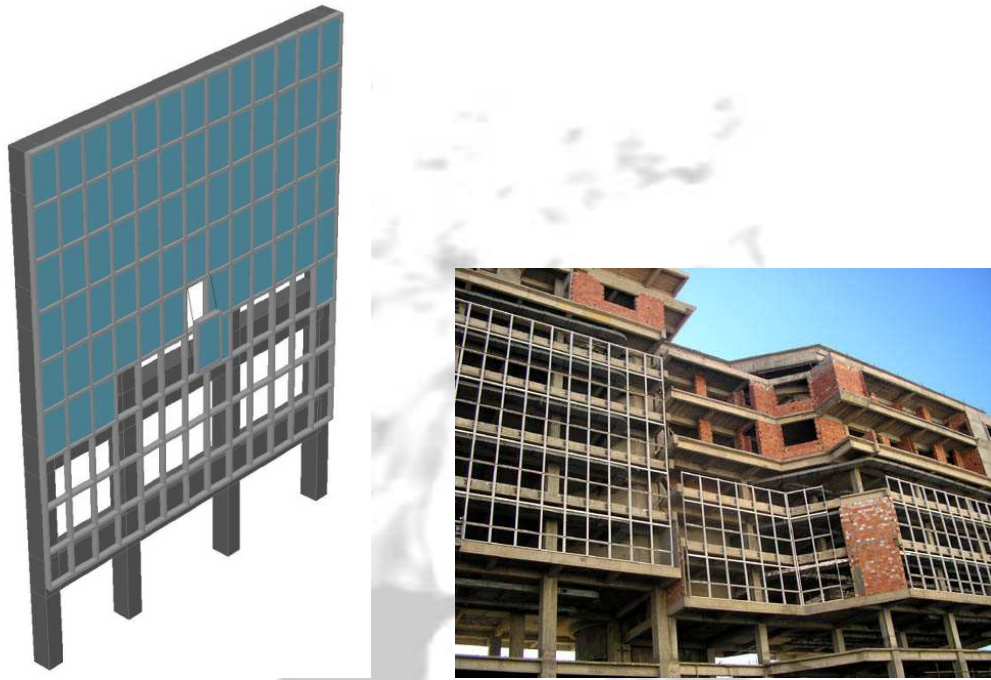


Figure II.16: Pare vent pour un mur rideau. (www.nrc-cnrc.gc.ca).

D-Les façades rideaux à ossature « grille » :



**Photo II.17 : URBAL SAHRAOUI : Projet LES CASCADES
- El Achour - Alger
(Projet en cours)**

Les façades rideaux sont constituées d'une ossature secondaire faite de montants filants et de traverses fixées de montant à montant. L'ensemble est fixé aux nez des planchers de chaque niveau. Cette ossature peut ainsi supporter des remplissages vitrés ou opaques. C'est une technique où les éléments sont préfabriqués et montés sur place. Chaque montant de l'ossature est accroché à la structure principale. Les traverses peuvent être encastrées ou emboîtées aux montants. Pour absorber les mouvements de la façade (dus aux efforts du vent, le poids des remplissages, la dilatation et les chocs prévus réglementaires), les montants et traverses sont liaisonnés par un système de manchons : les montants sont fixés comme une structure secondaire aux planchers avec des douilles ou des rails ancrés dans la dalle.

Les fenêtres sont fixées de trois manières différentes :

- Les vitrages fixes sont directement serrés contre la grille d'ossature.
- Les fenêtres (ouvrant et dormant) sont fixées entre les montants et les traverses C'est le cas le plus courant.
- Les montants peuvent être utilisés comme dormant de la fenêtre.

E-Les façades rideaux à ossature « cadre » :



Photo II.18 : GROUPE IMMOBILIER RAVIN DE LA FEMME SAUVAGE - Alger
Architecte : MERHOUME

(1er prix national de l'architecture, année 1994) (www.aluor.com)

Elles sont composées de montants, de traverses et d'un remplissage vitré ou opaque, (qui, contrairement aux « grilles », sont pré-assemblés), puis fixés aux planchers de chaque niveau. Les cadres sont indépendants les uns des autres, ils sont accrochés au gros œuvre de manière à se dilater librement dans le sens horizontal et vertical.

Le cadre est fixé au plancher à l'aide d'accroches fixées aux angles. Les attaches hautes sont fixes pour reprendre les charges verticales et celles du vent, et les attaches basses présentent un jeu pour permettre un mouvement de dilatation : les joints entre cadres doivent faire l'objet d'une attention particulière. Les profilés en caoutchouc relient les cadres entre eux ou procèdent par recouvrement.

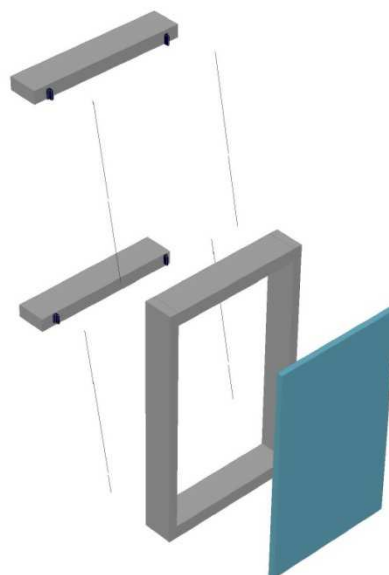


Figure II.19 : Mur rideau à ossature cadre.

F-Les jonctions possibles :

-La jonction aux angles

Il arrive souvent que deux murs-rideaux forment un angle intérieur ou extérieur. La conception de ce genre de jonction doit tenir compte de tous les aspects déjà abordés. Puisque les exigences varient d'un projet de construction à un autre, les fabricants n'ont pas d'éléments préfabriqués pour ce genre de détail. Par contre, les fabricants de murs-rideaux peuvent fournir les éléments voulus si leur participation est assurée dès l'étape de la planification et de préférence avant la date limite des soumissions. Ce type de jonction exige un écran pare-vent, un isolant et un revêtement extérieur (figure II.20).

Le pare-vent doit être assez rigide pour permettre à l'angle de supporter les pressions de l'air. Il convient d'avoir recours à l'aluminium comme pare-vent si le mur-rideau est en aluminium. Une tôle d'acier galvanisé peut être utilisée avec de l'aluminium, mais il faut alors tenir compte du potentiel de corrosion des deux métaux. Les coupures de liaison comme les peintures ou les bandes butyliques ont donné de bons résultats dans de nombreux murs-rideaux. Si le revêtement extérieur le long de l'angle du bâtiment doit prendre la forme d'un élément continu sans interruptions aux supports, il faut s'assurer qu'il y a une garniture d'étanchéité à l'air aux extrémités des éléments pare-vent.(R.L. Quirouette,1982).

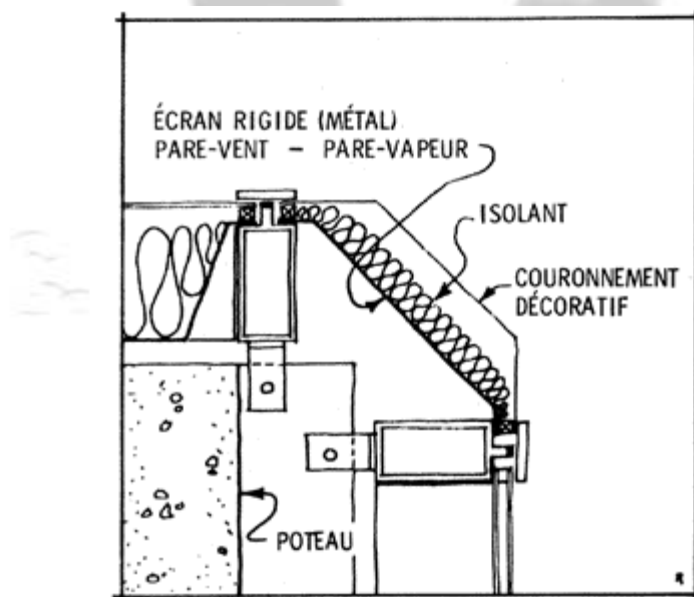


Figure II.20: jonction aux angles. (www.nrc-cnrc.gc.ca).

-La jonction au niveau du sol

Qu'il s'agisse d'un sol en béton, d'un mur de blocs de béton ou d'une dalle de plancher en béton, la jonction entre le mur-rideau et le reste du bâtiment est particulièrement sujette aux pénétrations d'eau de pluie et aux infiltrations d'air. Le type de jonction le plus répandu est illustré à la figure II.20. (R.L. Quirouette,1982). Il suscite toutefois deux problèmes: tout d'abord, une infiltration d'air froid se produit aux extrémités des tubes verticaux, augmentant par le fait même les risques de condensation à la surface des tubes et les risques de bris de vitrages; deuxièmement, les eaux de pluie s'accablent

dans le vide entre le mur-rideau et le plancher, provoquant une détérioration prématurée de la garniture d'étanchéité à l'air à la jonction plancher-support.

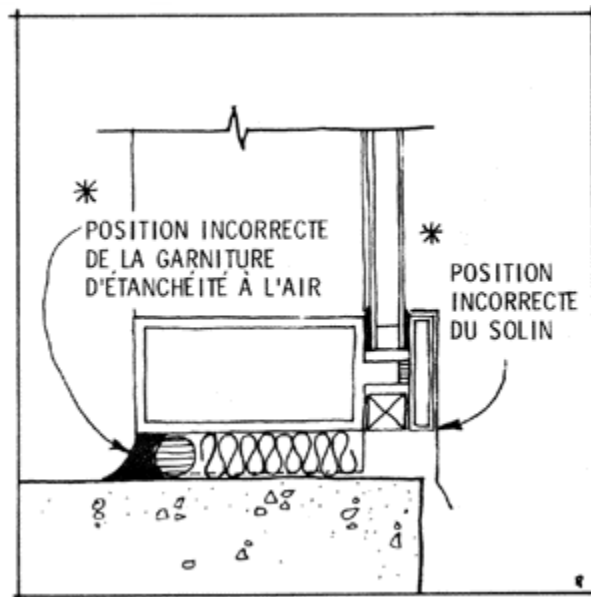


Figure II.21 : jonction au niveau du sol. (www.nrc-cnrc.gc.ca)

-Jonction avec la maçonnerie

Depuis quelque temps, la pratique architecturale cherche à découvrir de nouvelles façons d'obtenir une façade lisse. Ainsi, un vitrage de fenêtre affleure souvent (ou presque) le revêtement ou parement extérieur de façon à obtenir un mur uni et sans saillie. Ce type de jonction a révélé certaines faiblesses entre la maçonnerie et le mur-rideau. La technique illustrée à la figure 6 entraîne le plus souvent la formation de condensation à la surface interne des supports et des efflorescences à la surface externe du parement de brique. Deux raisons expliquent ce phénomène: tout d'abord, l'isolant mural n'est pas aligné avec la coupure thermique du support du mur-rideau. Il en résulte une discontinuité du plan de l'isolation et donc un pont thermique qui rend certains éléments de la structure plus froids que le point de rosée de l'air intérieur. De la condensation se forme souvent sur la surface interne des supports d'allège. La deuxième raison se rattache à la discontinuité de l'écran pare-vent en l'absence d'un élément pare-vent dans le mur de maçonnerie; s'il existe un écran pare-vent, il est rarement fixé au bon élément de support du mur-rideau.

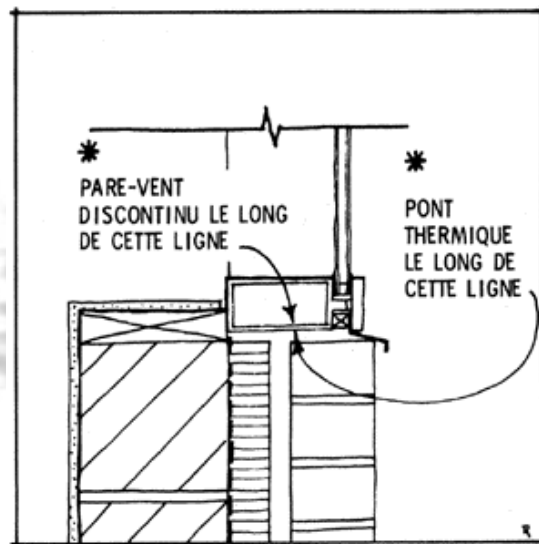


Figure II.22 : jonction avec la maçonnerie. (www.nrc-cnrc.gc.ca).

Cette configuration permet à l'air froid qui a pénétré la lame d'air par les trous d'évacuation d'eau dans le parement de brique de s'infiltrer de l'autre côté des jonctions de supports et à l'intérieur des tubes verticaux. Lorsqu'un tel agencement se produit à la partie supérieure d'un bâtiment, l'air contenu dans la pièce aura tendance à s'exfiltrer. Lorsque de l'air chaud et humide s'infiltré dans le vide entre les briques et les blocs de béton, une bonne partie de l'humidité se condense au dos du parement de brique. Il en résulte des efflorescences graves sur le briquetage juste au-dessous de la fenêtre pendant le dégel du printemps, et parfois un décollement ou une fissuration du briquetage.

Ce type de jonction doit être conçu de sorte que, peu importe son aspect externe, un élément pare-vent soit mis en place entre l'épaulement du support du mur-rideau et l'élément correspondant du mur en maçonnerie. Il peut s'agir de Placoplatre du côté intérieur du mur de blocs de béton, ou d'un mastic posé à la truelle entre une couche d'isolant et le mur de fond en blocs de béton. Un des éléments doit supporter toute pression ou force du vent susceptible de se produire à cet endroit. Le mastic posé à la truelle possède certaines propriétés de pare-vapeur mais il ne saurait aucunement représenter un pare-vent approprié. Même un trou minuscule dans le mastic permettra à l'air de s'infiltrer entre le mastic et l'isolant. Si l'isolant n'est pas perméable à l'air, la pression de l'air risque de le décoller du mur.

Il est également souhaitable de prévoir un alignement de l'isolant mural et de la coupure thermique du support du mur-rideau. Si pour une raison ou une autre, cette exigence ne peut être remplie, la jonction doit prévoir un espace suffisant pour que la couche d'isolant puisse franchir le vide entre l'isolant du mur en maçonnerie et la coupure thermique du mur-rideau. L'isolant doit se trouver directement contre le côté froid de l'élément pare-vent et celui-ci devrait s'opposer aussi à la diffusion de la vapeur.

-Jonction avec des panneaux préfabriqués

Il arrive qu'un mur-rideau soit accompagné de panneaux préfabriqués dans la façade d'un immeuble. Des bandes verticales de panneaux préfabriqués peuvent alterner avec des bandes verticales de fenêtres, ou des bandes horizontales de panneaux préfabriqués peuvent alterner avec des bandes horizontales de fenêtres de façon à créer un effet de stratification. Ce genre de système superposé suscite plusieurs questions dès l'étape de la conception. Tout d'abord, le mur-rideau doit-il être relié à un mur en équilibre de pression ou à un mur de panneaux préfabriqués suivant le procédé du colmatage superficiel? Deuxièmement, les étapes de l'exécution permettent-elles d'assurer une jonction efficace?

En supposant qu'il soit nécessaire de relier un panneau préfabriqué à un mur-rideau, on peut prévoir les étapes de construction suivantes: le panneau préfabriqué est d'abord mis en place dans le bâtiment, puis aligné; les éléments de l'ossature du mur-rideau ou de la fenêtre sont ensuite installés; enfin, un mur intérieur est érigé derrière le mur préfabriqué pour compléter l'ensemble. Aussi simple que cela puisse paraître, il est fort probable que les éléments de jonction entre le support du mur-rideau et le panneau préfabriqué ne seront pas exécutés tel que prévu, parce que ces mêmes éléments de jonction (figure II.23), qui sont les derniers à être exécutés (pare-vent, isolant et parement), exigent la participation simultanée de deux sous-traitants (un pour les murs secs, l'autre pour le mur-rideau). Il en résulte presque inévitablement des chevauchements, de sorte qu'une partie du mur-rideau doit être démontée.

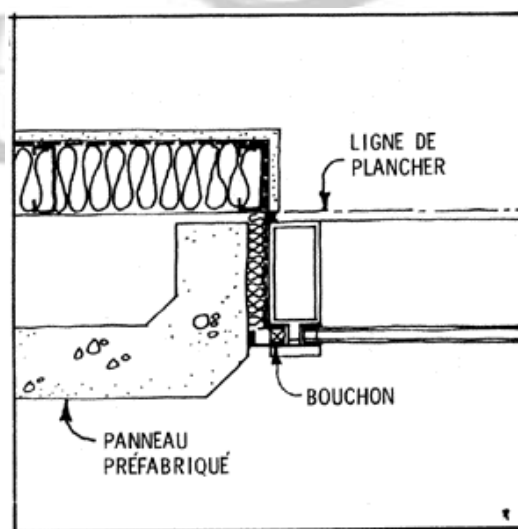


Figure II.23 : jonction avec panneaux préfabriqués.(www.nrc-cnrc.gc.ca).

G-Avantages techniques et économiques recherchés :

- légèreté (50 à 80 kg/m²), soit 20 à 30 % du poids d'une construction traditionnelle (www.energieplus-lesite.be)
- encombrement réduit (de 10 à 20 cm), soit un gain de 10 à 30 cm par rapport à la construction traditionnelle

- préfabrication industrielle permettant une grande vitesse de mise en œuvre ;
- performances d'étanchéité à l'eau, à l'air et au vent, supérieures à une construction traditionnelle ;
- entretien réduit ;
- larges possibilités d'adaptation au niveau du concept architectural.

Ces avantages expliquent le très fort développement de cette technique, principalement dans les bâtiments destinés au secteur tertiaire. Les différents types de murs-rideaux se distinguent par leur degré de préfabrication en atelier ainsi que par leur mode de report de charge sur le support (structure de bâtiment).

2.2. La façade semi- rideau :



Photo
II.24.Mur
semi-rideau

avec parement en glace

L'Atrium Part-Dieu de R+6

Architecte : Babylone avenue architectes.(www.pss-archi.eu).

Selon Gérard Karsenty (1997).La façade semi-rideau est une façade légère multi parois, dont seule la paroi extérieure est située en avant du nez du plancher, la paroi intérieure étant insérée entre deux planchers directement superposés. Comme pour la façade rideau, il convient de distinguer les deux types suivants de façade semi-rideau :

- La façade semi-rideau intégrale, dont la paroi extérieure passe devant l'ensemble de la structure porteuse du bâtiment, horizontale et verticale.
- La façade semi-rideau verticale, dont la paroi extérieure, passant devant le nez des planchers, est interrompue par la structure verticale, murs de refend ou poteaux.

L'aspect extérieur de ce type de façade est semblable à celui d'une façade rideau. La différence porte sur la position et l'exécution de l'élément intérieur qui est réalisé avec des composants industrialisés ou des matériaux traditionnels, préfabriqués ou bâtis sur le chantier. Ce principe permet de résoudre les problèmes d'isolation acoustique entre locaux contigus et de répondre à la réglementation de la sécurité incendie pour la transmission des flammes d'un étage à l'autre par l'extérieur. Les inconvénients portent sur le poids, l'épaisseur et les délais de mise en œuvre.

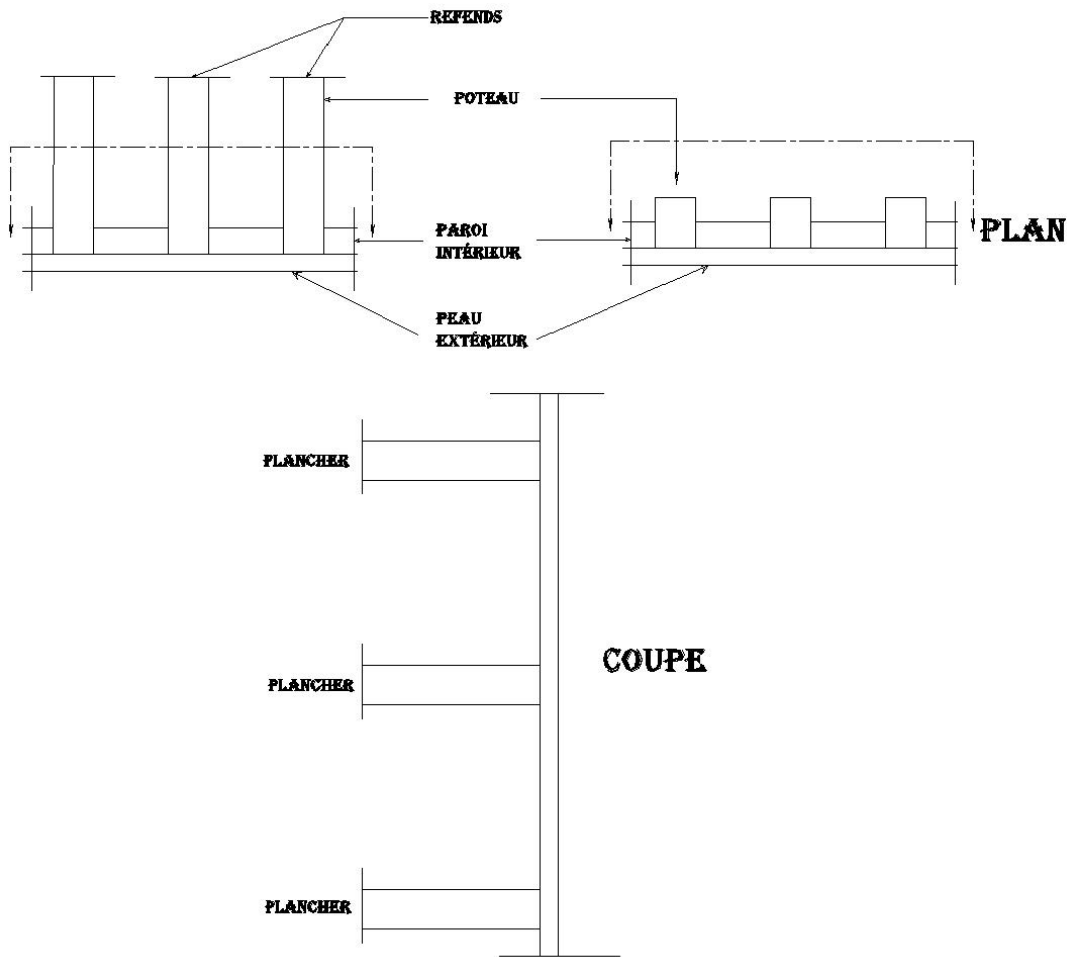


Figure II.25 : Façade semi rideau intégrale. (Gérard Karsenty,1997).

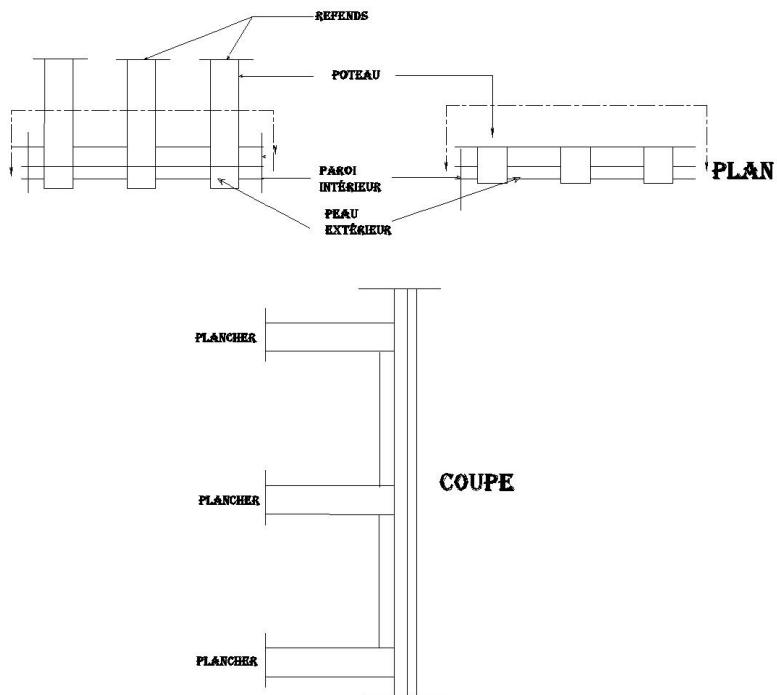


Figure II.26: Façade semi rideau filant verticalement. (Gérard Karsenty,1997).

2.3. La façade panneau:



Photo II.27 : Exemple de façade en panneau.(www.energieplus-lesite.be).

La façade panneau, ou panneaux de façade, est une façade légère, composée d'une ou de plusieurs parois, insérée entre deux planchers directement superposés. Reposant sur le plancher, elle demande un très grand soin dans la réalisation de cet appui afin d'éviter les risques d'infiltration. Elle est réalisée à l'aide de panneaux de grande dimension, hauts d'un étage ou d'un demi-étage et fixés à l'ossature du bâtiment ou à une ossature secondaire. Ils sont entièrement préfabriqués en usine, juxtaposés sur chantier et fixés généralement par une ou deux attaches par panneau. (Gérard Karsenty,1997).

Les seuls éléments de construction sont ici les panneaux, qui assurent simultanément la fermeture, la transmission de leur propre poids et de la pression du vent à l'ossature ; ils sont autoportants. Les panneaux sont essentiellement caractérisés par le fait que leur surface extérieure est fermée et dépourvue de joints. Lorsque la façade est équipée de fenêtres, elles sont ménagées dans la surface des panneaux; les châssis des fenêtres sont solidaires des panneaux. Les panneaux sont assemblés directement entre eux sans pièce intermédiaire. Sur le plan architectural, les murs à panneaux sont essentiellement marqués par des surfaces dégagant une impression d'unité, sans autre articulation que celle des joints entre panneaux. Ce système est plus rapide que le précédent et donne plus de facilités au point de vue de la réalisation des étanchéités. (Gérard Karsenty,1997).

- L'assemblage par emboîtement est réalisé par le profil de cadre qui est mâle et femelle ou encore par un profil auxiliaire en H, dans lequel viennent s'insérer les profils mâles de deux cadres adjacents. Ce mode d'assemblage ne permet que difficilement le montage d'un élément sans déplacer les cadres adjacents.

- L'assemblage par juxtaposition de cadre permet un démontage ultérieur simple, mais demande l'emploi d'un profil couvre-joint aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur.



Photo II.28 : Montage d'une façade en panneaux. (www.energieplus-lesite.be)

2.4. Le bardage :



Photo II.29 : Le bardage.

A-Définition :

A son origine, le bardage désigne un revêtement de mur réalisé avec des bardeaux ou des matériaux de couverture (ardoises, clins en bois). Plus généralement, le bardage est constitué par une paroi simple ou multiple, généralement opaque, obtenue par la juxtaposition de profilés ou de plaques en métal (acier pré laqué, zinc, etc...), en bois, en matériaux de synthèse ou autres, fixés sur une ossature secondaire.(Kinda Hannawi,2005-2006)

Selon la composition, le bardage entre dans l'une des catégories suivantes :

- **Le bardage à simple peau**, qui comporte une seule paroi.
- **Le bardage à double peaux**, comprends deux parois assemblées sur le chantier et disposées de part et d'autre d'un matériau isolant ; elles peuvent être de même nature ou de nature différentes.

- **Le bardage sandwich**, qui est un composant industrialisé formé de deux parois solidarisiées de manière continue à l'aide d'une âme isolante.

Les parois, ou peaux, sont constituées par des profilés en tôles métalliques ayant reçu un revêtement définitif ou par des clins en bois ou en matière plastique. Elles ont une bonne résistance mécanique aux chocs. Les joints entre les éléments sont exécutés de manière à éviter les risques d'infiltrations et la perméabilité à l'air. Le bardage simple peau est employé dans la construction des hangars ou des entrepôts qui ne nécessitent aucune isolation thermique ou acoustique. Il peut également servir à revêtir un mur maçonné et une isolation thermique extérieure, avec interposition d'une lame d'air ventilée. Les jonctions entre les profils sont réalisées de manière à rendre le bardage étanche, quelques soit l'exposition et la hauteur du bâtiment.

Le bardage double peaux et le bardage sandwich sont utilisés couramment dans les constructions industrielles. En immeubles d'habitation ou de bureaux, le bardage vient en habillage d'une paroi extérieure complexe assurant l'ensemble des fonctions d'une barrière entre les ambiances intérieures et extérieures, entre autre, l'isolation thermique et acoustique.

La vêtture est un procédé de revêtement des murs extérieurs qui associe un isolant thermique et sa protection extérieure dans un seul produit manufacturé. Il se présente sous la forme de plaques ou de panneaux modulables ,le parement est constitué de matériaux rigides tels que l'ardoise, la pierre reconstituée, le métal pré laqué, l'aluminium , la terre cuite, etc. la vêtture est fixée sur le mur support à l'aide de fixations mécaniques, solution plus sûr que le collage.(Kinda Hannawi,2005-2006).

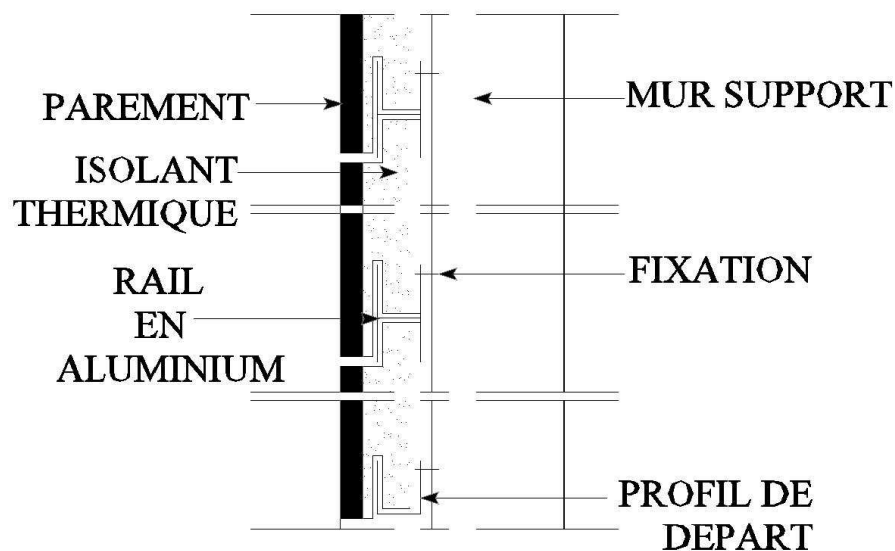


Figure II.30 : La vêtture. (Gérard Karsenty,1997).

B-Composition de la paroi :

- Bardage (plateaux) métalliques, perforés ou non.
- Ossature intermédiaire constituée d'un profil Z métallique.
- Joints encollés avec un mastic.
- Bardage métallique extérieur horizontal, vertical ou incliné à 45°.

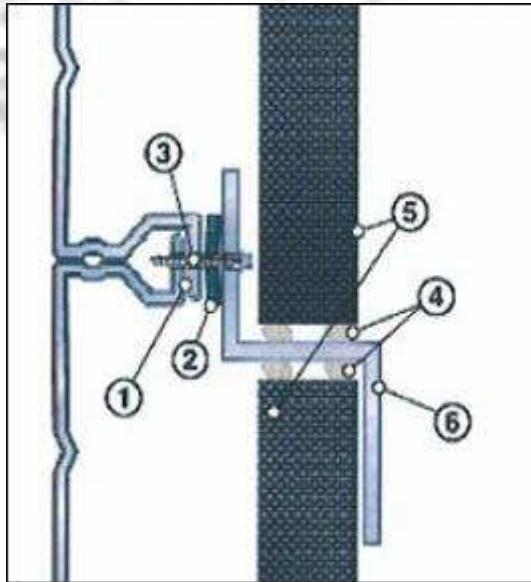


Figure II.31: Schéma de principe. (www.cms2.plenso.be).

- 1° Lèbres du plateau métallique intérieur.
- 2° Joint préformé adhésif.
- 3° Vis de fixation des profils Z métalliques.
- 4° Double joints de mastic
- 5° Joint Ep. Mini 7cm.
- 6° Profil Z.
- 7° Bardage extérieur (non dessiné).

2.5. Mur en verre structurel :



Photo II.32 : Exemple d'un mur en verre structurel. (www.energieplus-lesite.be).

Dans ce cas, la paroi est entièrement constituée par des lames de verre. La liaison entre les panneaux vitrés est assurée par un simple joint en silicone. Les déplacements relatifs des panneaux les uns par rapport aux autres doivent être infimes, sous peine d'ouvrir les joints ou de créer des contraintes tendant à briser l'élément vitré. C'est pourquoi les pièces en suspension et les assemblages sont conçus pour absorber tous les mouvements et les efforts entre le mur vitré et la structure porteuse. On distingue diverses techniques de fixation au vitrage :

A-Verre Extérieur Agrafé ou Attaché ou "VEA"

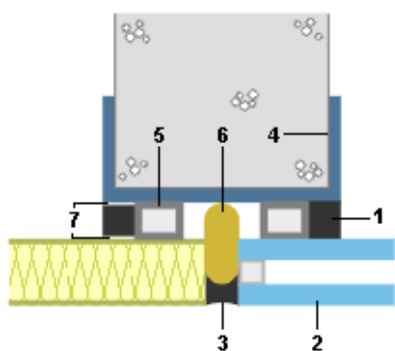
Le verre extérieur attaché (VEA) est perforé et fixé directement sur une structure porteuse par l'intermédiaire d'attaches mécaniques métalliques ponctuelles, platine de serrage, boulons traversant ou non le verre, lesquels seront, ensuite, repris soit par des rotules, soit articulées, soit rigides. Ce dispositif doit permettre la reprise des efforts dus : au vent et/ou à la neige, au poids propre, aux mouvements différentiels entre verre et structure. En fonction du choix architectural, la paroi peut être supportée par différents types de structure : charpentes métalliques, structures en câbles inoxydables, poutres en verre, structures intégrant des contreventements.... (www.verreonline.fr)



Photo II.33 : Verre Extérieur Agrafé.(www.energieplus-lesite.be).

B-Verre Extérieur collé ou "VEC" :

La technique VEC permet, par l'effacement de la structure métallique derrière les produits verriers, d'obtenir un aspect de façade uni, mettant en valeur les vitrages. Les composants verriers sont collés à l'aide de mastics qui agissent avant tout comme élément de transfert des contraintes de ces composants vers leur support.(Kinda Hannawi,2005-2006)



1. Joint de structure.
2. Vitrage.
3. Joint d'étanchéité.
4. Structure de collage.
5. Espaceur.
6. Fond de joint.
7. Plans d'adhérence.

Figure II.34 : Principe du VEC. (www.energieplus-lesite.be)

Ce sont les mastics qui doivent transférer les contraintes extérieures vers le support. Les mastics jouant le rôle de joint de structure doivent reprendre les efforts engendrés par le vent, éventuellement le poids propre et les dilatations différentielles entre verre et cadre support. En aucun cas, ils ne doivent reprendre les déformations prévisibles du bâtiment. Celles-ci doivent être reprises au niveau de la liaison "cadre/structure" porteuse du VEC. Le VEC est un système de collage et non un système mécanique pur. La maîtrise des problèmes de vieillissement, de compatibilité, de propreté de surface, de définition de barrière d'étanchéité, est donc fondamentale.

Deux systèmes VEC peuvent être utilisés :

- le système "deux côtés" pour lequel les volumes verriers sont pris en feuillure classique sur deux côtés, les autres côtés étant collés sur une structure de maintien,
- le système "quatre côtés" ou système intégral, pour lequel les volumes verriers sont collés sur quatre côtés sur des châssis non apparents (cadre à coupure thermique), ce qui se traduit par un aspect extérieur uniforme et sans aspérité.

Les parties ouvrantes et les parties fixes sont fabriquées selon le même principe. Chaque remplissage est collé séparément sur un cadre en atelier. Il y a lieu, de prévoir des moyens de réglage des cadres pour assurer une planéité, un aplomb, un équerrage et une rectitude des lignes optima de l'ensemble de la façade. La juxtaposition des éléments vitrés laisse un joint extérieur ouvert de ± 12 mm qui est remplis à refus d'une silicone spéciale inaltérable aux U.V. et 100 % compatible avec la silicone structurelle. (Les Cahiers Techniques du Bâtiment, 1998).

C-Verre Extérieur Parclosé :

Permet de réaliser des façades avec traçage et dessin des trames par des traverses aluminium (vue d'aluminium côté extérieur). Dans le cas de fermeture des parties ouvrantes du mur rideau, pareillement au VEC, le V.E.P dissimule toute distinction entre l'ouvrant et le fixe. Le remplissage n'est pas collé sur le cadre, mais maintenu par une parclose visible autour du verre ou du panneau vitré autour du verre ou du panneau vitré. (www.wikipedia.org).



Photo II.35 : Exemple du Verre Extérieur Parclosé. (www.energieplus-lesite.be)

3. Les éléments de remplissage :

Ce sont des matériaux simples ou composites qui s'insèrent dans l'ossature de la façade légère pour en remplir les vides et former la façade. Ces éléments peuvent être fixes ou mobiles, isolants ou non, opaques, transparents ou translucides; ils doivent, en tous cas, assurer leur propre stabilité. Les éléments de remplissage sont indépendants de la nature de l'ossature. (Benoit Parmentier 2004). Des exigences élevées : On doit sélectionner des matériaux en plaques ou en feuilles, incombustibles, résistants aux conditions atmosphériques et de belle apparence. En plus des produits verriers rencontrés dans les fenêtres des façades traditionnelles, on rencontrera donc :

3.1. Les matériaux isolants :

- a. Les laines minérales.
- b. Certains bois très légers comme le balsa.
- c. Le verre cellulaire.
- d. Les mousses de résines synthétiques :
 - le polystyrène,
 - le polyuréthane,
- e. Le liège aggloméré.
- f. Les panneaux isolants de fibres.

3.2. Les parois extérieures :

Les parois rarement employées seules, constituent généralement les faces rigides des complexes isolants ou servent de parement à ces complexes, dont elles sont alors séparées par une lame d'air. Certaines parois, outre leur résistance propre, possèdent les qualités d'aspect nécessaires à un parement décoratif. Il s'agit par exemple, de tôles d'acier inoxydable, de verre ou de glaces trempées colorées dans la masse, de tôle d'aluminium teintées ou non ou encore de tôle de cuivre. D'autres n'offrent pas un aspect suffisamment esthétique et sont alors revêtus sur la face visible d'un revêtement extérieur de décoration, dont :

- a. Les produits verriers qui sont utilisés dans ce but sont : le verre coulé coloré dans la masse (armé ou non), le verre opaque, le verre opalescent, le verre émaillé, le verre façonné.
- b. Les tôles d'acier :
 - inoxydable,
 - recouverte d'émail vitrifié à haute température,
 - galvanisée ou électro zinguée à peindre sur chantier,
 - laquée au four en usine sur support laminé à froid, électro zingué ou galvanisé,
 - pré peinte en continu en usine.
- c. Les tôles d'aluminium planes ou à dessins sont utilisées sous différents états.
- d. Le bois déroulé ou tranché.
- e. Le bois massif.
- f. Les plaques en asbeste-ciment.
- g. Les feuilles de matières plastiques les plus diverses collées sur le parement.
- h. Les peintures appliquées à froid.

3.3. Les parties transparentes et translucides en matières plastiques :

- a. Les stratifiés en polyester renforcés à la fibre de verre : des éléments translucides de toutes formes et de toutes dimensions peuvent être obtenus par imprégnation de tissus de fibres de verre à l'aide de diverses résines polyesters. (www.energieplus-lesite.be).
-nid d'abeilles
-âme polyester
- b. Les plaques de chlorure de polyvinyle : les plaques translucides et transparentes en P.V.C sont utilisées principalement en bardage extérieur et pour la décoration intérieure.
- c. Les plaques en polyméthacrylate de méthyle : ces plaques transparentes d'aspect lisse, sont obtenues par moulage. Elles sont utilisées en allège.(Architecture & Climat,1986).

4. Avantages et inconvénients :

Leurs avantages essentiels résident dans la légèreté des composants, dans le faible encombrement au sol de l'ordre de 10cm à 12 cm. (Kinda Hannawi, 2005-2006) dans la fabrication industrielle en série. Cette volonté technique autorise une intervention sur le chantier de courte durée et la possibilité d'incorporer des équipements techniques en allège. Elle impose une exécution précise, à des cotes rigoureuses, quels que soient les matériaux utilisés.

Les inconvénients majeurs se trouvent dans leur faible inertie thermique, particulièrement sensible en été, et dans la multiplication des joints, qui sont autant de points faibles. Le premier problème peut être résolu partiellement par le choix des matériaux constituant la peau extérieure : l'adoption de produits réfléchissants apporte une amélioration non négligeable. Quant aux joints entre les composants, il convient de les traiter avec soin afin d'éviter les infiltrations d'eau, la perméabilité à l'air ainsi que les ponts thermiques et acoustiques. Le problème se pose également au niveau des liaisons entre les façades légères et la structure porteuse (voiles, dalles des planchers) ou les cloisonnements intérieurs. Celles-ci doivent assurer une parfaite continuité des conditions d'isolation entre les locaux. Ces difficultés trouvent une réponse plus ou moins satisfaisante selon le type de façades légères. D'autre part, le coût élevé de certains matériaux n'est pas sans influencer les choix définitifs.(TBC,2006).

Ces systèmes permettent par leur construction d'intégrer les avantages suivants :

- Le store peut être intégré dans la lame d'air. Il est ainsi protégé des intempéries et de la pollution. La protection solaire fonctionne même en cas de vent important, ce qui représente un avantage incontestable pour les immeubles de grande hauteur. Donc on renonce aux stores intérieurs peu efficaces.
- La chaleur retenue par les stores entraîne une élévation de la température dans la lame d'air. Par un effet de poussée thermique, l'air chaud monte et s'échappe à l'extérieur ou il peut être conduit vers un accumulateur d'énergie.

- La paroi complémentaire (si étanche) peut améliorer sensiblement l'isolation acoustique contre le bruit extérieur.
- Les fenêtres de la façade intérieure peuvent être ouvertes. Même pour les immeubles de grande hauteur, une aération naturelle est possible.
- La paroi vitrée extérieure, assure les aspects de sécurité en cas d'ouverture nocturne des fenêtres, permettant un rafraîchissement du bâtiment non occupé.
- Les pertes par transmission thermique sont diminuées en hiver en raison de la vitesse d'air réduite et de la température plus élevée dans l'espace tampon.
- Amélioration de la lumière dans les volumes intérieurs, par une ouverture accrue de la façade.

Mais des inconvénients apparaissent également dont tout particulièrement le surcoût du système. Par rapport aux économies d'énergie réalisées (à étudier finement car le bilan d'été n'est pas forcément positif...), il apparaît que d'autres techniques sont beaucoup plus efficaces, à budget égal.

5. Conclusion :

Les façades légères, en tant qu'enveloppes non porteuses, ayant nécessairement une épaisseur inférieure à celle des murs de maçonnerie, ont l'avantage incontestable de réduire l'emprise des murs sur les planchers et donc d'augmenter la surface au sol. Par ailleurs, la faible charge de ces façades permet de construire beaucoup plus haut qu'avec des murs de masse, la charge totale portée étant divisée par deux.

Les façades étant composées d'éléments rapportés et assemblés, la constitution d'une façade légère s'adapte aux besoins fonctionnels et esthétiques. Il est possible d'accumuler les épaisseurs (à la manière d'une façade acoustique), de laisser une lame d'air, de varier les revêtements. La façade légère apparaît comme un champ très ouvert de la construction, propice à l'innovation. Ce qui fait également l'avantage de cette technique est la préfabrication. Elle permet de réduire les délais de construction avec un principe d'assemblage d'éléments finis.

Ces façades peuvent être utilisées pour tous types de bâtiments : logement, bureaux... Il n'y a pas eu encore d'études approfondies sur les performances des façades légères, mais elles possèdent des qualités assez semblables aux murs de masse. Leurs qualités d'isolation dépendent surtout des performances du verre, des matériaux de remplissage utilisés. La conductivité acoustique, contrairement aux idées reçues se transmet moins par l'ossature secondaire que par les planchers. Si les façades rideaux et les façades panneaux jouissent d'une grande souplesse d'utilisation, en revanche les bardages simple peau ne sont pas assez satisfaisants du point de vue acoustique et thermique et restent davantage utilisés dans le tertiaire. S'ils sont utilisés dans le logement, ils sont toujours doublés. (Z. Chelghoum,2000).

Chapitre III

La façade intelligente



-Introduction-

Les bâtiments planifiés et exploités en tenant compte de l'efficacité énergétique ne sont plus uniques. La description même de « bâtiment intelligent » commence à perdre son caractère exotique. Ces deux tendances révolutionnent actuellement l'architecture de plus en plus ambitieuse dans la lutte mondiale contre le changement climatique. De ce fait, la conservation énergétique dans le secteur du bâtiment est devenue une tendance majeure et ce concept s'est progressivement intégré dans le quotidien des architectes et des constructeurs de bâtiments. En raison de la récurrence récente de désastres naturels annuels, de grande ou petite ampleur, nous pouvons constater l'augmentation d'un déséquilibre.

La construction et l'exploitation d'un bâtiment implique la consommation de grandes quantités d'énergie, ce qui explique pourquoi une utilisation ciblée est tout particulièrement efficace dans ce secteur. Cela ne signifie pas nécessairement que l'objectif ultime doive être une « maison zéro énergie » ; la seule connexion intelligente de tous les appareils à un système complet décentralisé permet de réaliser de surprenantes économies. L'interconnexion de tous les dispositifs électriques avec un système de bus unique permet un contrôle coordonné optimal. Par exemple, le fonctionnement du chauffage, de la climatisation, des lumières et des persiennes peut être aligné avec les conditions climatiques extérieures et contrôlé au moyen d'une interface. La consommation énergétique peut ainsi être maintenue dans des limites minimales. Tout l'équipement électrique et toutes les installations pouvant être combinés et contrôlés par des écrans tactiles ou par les réseaux publics (téléphone, Internet), cela ouvre des possibilités presque illimitées en matière de conception et de confort.

1. Généralités :

1.1. Bâtiment intelligent :

À quoi se mesure l'intelligence d'un bâtiment? À sa capacité d'intégration et d'interopérabilité des systèmes. En clair, ça signifie que l'éclairage, le chauffage, la sécurité et les télécommunications d'un édifice (pour ne nommer que ces composantes), passent par un même système de câblage et sont gérés à partir d'un simple ordinateur, qui peut être branché n'importe où dans l'édifice. Dans les faits, on est en présence d'une inforoute locale sur laquelle circulent toutes les informations nécessaires à une gestion optimale de l'édifice lui-même et de l'ensemble des activités qui s'y déroulent. Le premier avantage du bâtiment intelligent, c'est bien sûr d'offrir un meilleur environnement à ceux qui y vivent. En plus d'assurer un confort et une sécurité accrue tout en réalisant des économies appréciables. Pour qu'on puisse parler de bâtiment intelligent, il faut qu'il y ait optimisation de l'intégration de quatre composantes de base

- la structure
- les systèmes (protection, climatisation d'air, alimentation électrique),
- les services (télécommunications, courrier électronique, vidéoconférence, etc.)
- la gestion (énergie, surveillance, entretien, comptabilité, etc.).

« Un bâtiment intelligent est celui qui permet un environnement productif et rentable en misant sur l'optimisation et l'interrelation des quatre niveaux fondamentaux suivants : l'infrastructure, les systèmes, les services et la gestion. L'immeuble intelligent aide le propriétaire, le gestionnaire et les occupants à réaliser leurs objectifs de coûts, de confort, de services, de sécurité, de flexibilité à long terme et de mise en marché »(Luc Verreault,2004).

Selon la définition de Industrie Canada, « un bâtiment est dit intelligent s'il est doté d'une infrastructure de télécommunications qui assure son adaptation continue aux conditions changeantes, s'il permet une utilisation plus efficace des ressources et s'il offre un confort et une sécurité accrue à ses occupants ». Les bâtiments intelligents consomment moins d'énergie grâce à l'intégration de composantes auparavant séparées- le chauffage, la ventilation, la climatisation, la sécurité et la sécurité-incendie, l'alimentation énergétique et l'éclairage - dans un seul système centralisé qui surveille le fonctionnement de chaque composante et élimine toute inefficacité énergétique. Dans le jargon de la construction, c'est ce qu'on appelle l'« immotique ».L'éclairage est d'ailleurs souvent une grande source d'énergie gaspillée. Les systèmes d'éclairage génèrent habituellement plus de chaleur que de lumière, de telle façon qu'à l'été, l'appareil de conditionnement d'air peut même sous l'effet de l'éclairage se mettre en marche pour rafraîchir une pièce, ce qui gaspille encore plus d'énergie. Les systèmes d'immotique sont dotés de fonctions intelligentes conçues pour réduire la consommation d'énergie : des détecteurs de présence qui allument les lumières s'il y a quelqu'un, des systèmes informatiques qui s'éteignent automatiquement lorsque l'employé a quitté l'immeuble de bureaux et des salles de conférence configurées pour ajuster la circulation d'air. Bien qu'il ne soit pas obligatoire d'inclure des composantes vertes dans un bâtiment intelligent selon la définition de ce qui constitue un bâtiment intelligent, et vice-versa, il y a souvent des chevauchements entre ces deux concepts parce que les économies d'énergie réalisées sont profitables d'un côté comme de l'autre. Lorsque les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation sont reliés à un système intégré, il est possible de les gérer de

façon à réduire non seulement les dépenses d'énergie inutiles, mais aussi les dépenses proprement dites.

1.2. Bâtiment à énergie positive :

Un bâtiment à énergie positive est un bâtiment qui produit plus d'énergie qu'il n'en consomme. Concevoir un tel bâtiment se fait en deux temps. Il convient tout d'abord de réduire les besoins de chaleur, de froid et d'électricité. Puis il s'agit de subvenir aux besoins restants par des énergies renouvelables locales.(C. Inard,2007).

1.3. Matériaux intelligents :

Un matériau intelligent est sensible, adaptatif et évolutif. Il possède des fonctions qui lui permettent de se comporter comme un capteur (détecter des signaux), un actionneur (effectuer une action sur son environnement) ou parfois comme un processeur (traiter, comparer, stocker des informations). Ce matériau est capable de modifier spontanément ses propriétés physiques, par exemple sa forme, sa connectivité, sa couleur, en réponse à des excitations naturelles ou provoquées venant de l'extérieur ou de l'intérieur du matériau. Par exemple des variations de température, des contraintes mécaniques, de champs électriques ou magnétiques. Le matériau va donc adapter sa réponse, signaler une modification apparue dans l'environnement et dans certains cas, provoquer une action de correction. » (Consensus, 2008).

a. Le Mur Capteur :

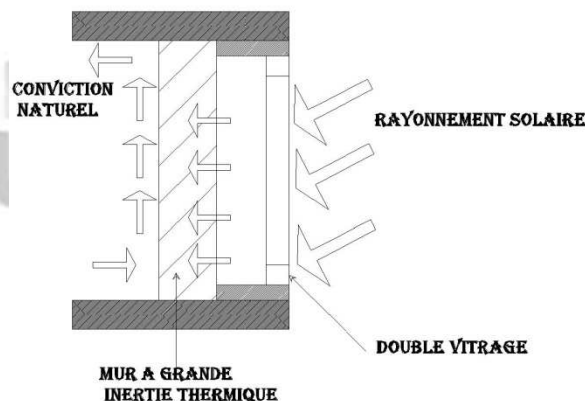


Figure II.36 : Schéma d'un mur capteur.

Le rayonnement solaire, de petite longueur d'onde, traverse le double vitrage à faible émissivité, et transmet de la chaleur à la lame d'air sous forme de rayonnement thermique de grande longueur d'onde. C'est cet effet de serre qui est le moteur et le point clé de cette technique. La chaleur est ensuite transmise, par conduction, à un mur composé d'un matériau à grande inertie. Cette chaleur emmagasinée dans le mur va être redistribuée avec un certain déphasage, fonction de la composition du mur.

La convection naturelle, qui limite la transmission de chaleur, est présente dans la lame d'air, mais peut-être réduite en diminuant l'espacement entre le vitrage et le mur capteur. L'étanchéité est totale entre le vitrage et le mur, il n'y a pas de circulation aérodynamique entre l'intérieur et l'extérieur. Cette technique permet de profiter d'un apport de chaleur passif et différé dans le temps. Afin d'optimiser l'ensemble, il est possible d'isoler le double vitrage la nuit via un système de stores, de manière à minimiser les pertes thermiques. Il est également

possible de recouvrir la face extérieure du mur capteur d'une peinture sombre, afin d'augmenter la transmission de la chaleur.(Philippe Gibert,2010)

b. Le mur Trombe-Michel:

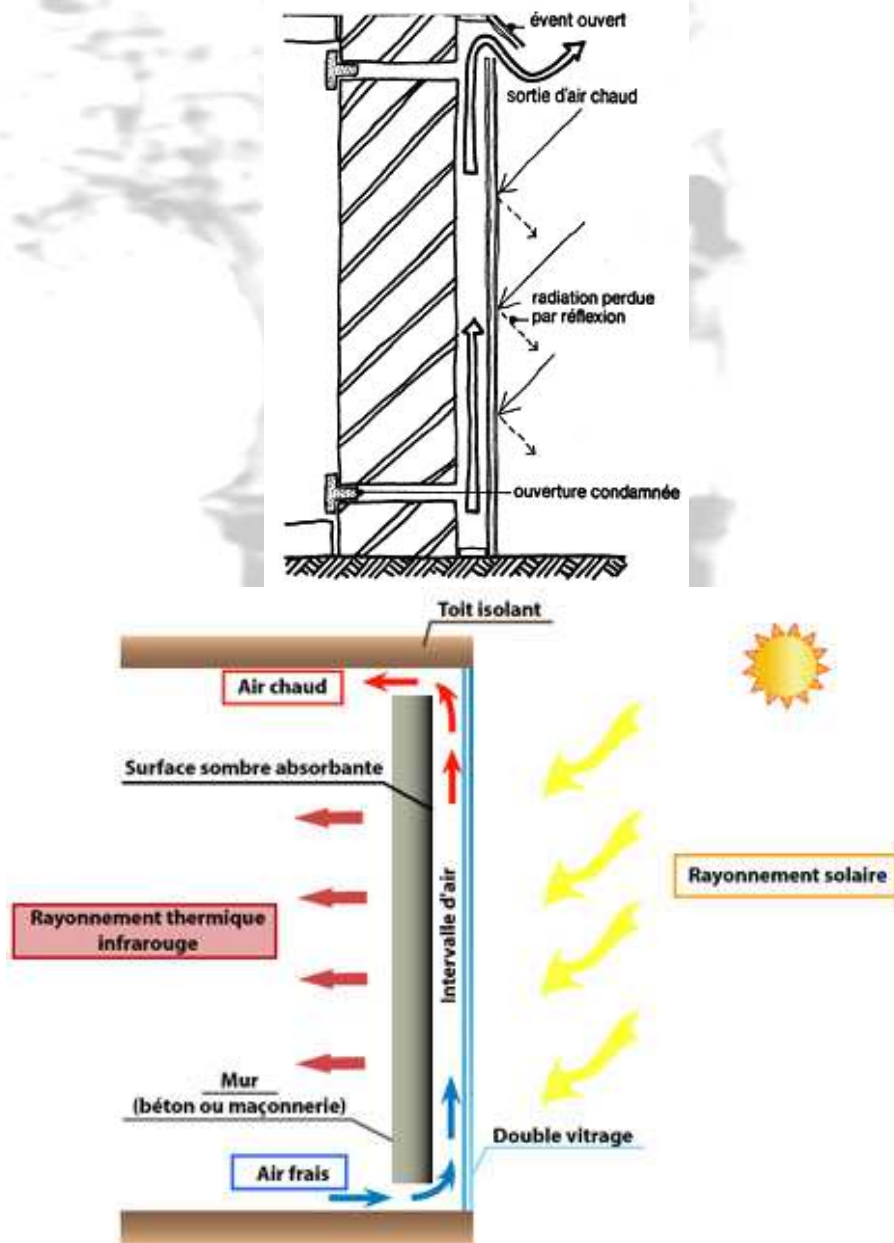


Figure II.37 : Fonctionnement d'un mur capteur "Trombe-Michel" en été
Architectes: Trombe et Michel.(www.caue54.com)

Le mur Trombe-Michel, ou mur Trombe, est basé sur le même phénomène physique que le mur capteur. Le rayonnement solaire vient chauffer une lame d'air présente entre un vitrage à faible émissivité et un mur à forte inertie thermique. Via un système de clapets situés en partie supérieure et inférieure du mur, une circulation d'air est possible entre l'intérieur de la pièce et la lame d'air chauffée. Il existe deux modes de fonctionnement :

- Lorsque l'ensoleillement active la paroi, c'est-à-dire, lorsque le rayonnement est présent dans la journée, il est possible d'ouvrir les clapets afin de permettre une convection naturelle. L'air de la pièce, relativement plus froid, viens se réchauffer au contact du mur capteur, et ainsi créer un mouvement convectif qui va permettre le réchauffement de la

pièce en contact avec le mur. Il y a donc circulation aéraulique entre la lame d'air et le volume adjacent.

- En l'absence d'ensoleillement, on ferme les clapets, et la chaleur emmagasinée par le mur capteur est restituée par rayonnement à la pièce, créant ainsi une convection naturelle, mais cette fois-ci sans mouvement d'air.

Cette technique permet également d'éviter les surchauffes en été, grâce à la présence d'un évent, situé en partie supérieure du vitrage. En position ouverte, ce clapet permet d'évacuer l'air chauffé produit dans la lame d'air. Ceci n'est possible que si les clapets du mur capteur, sont eux fermés.

2. La façade intelligente (active) :

2.1. Introduction :

« Les façades verront leurs performances augmenter, en particulier leurs performances énergétiques, passives ou actives, variables ou non » (CSTB,2008).

Les façades sont cruciales à la consommation d'énergie et le confort dans les constructions. L'incorporation de l'intelligence dans leur design et conception est une façon effective de réaliser des constructions à basse énergie. Cependant, la planification prudente doit être impliquée pour atteindre des économies satisfaisantes et l'acceptation d'utilisateur. À ce jour, les concepts de façade innovante sont plus pertinents que jamais. (Carlos Ernesto Ochoa ,Isaac Guedi Capeluto,2008).La demande pour utiliser la ventilation naturelle dans les bâtiments commerciaux est croissante en raison des exigences environnementales associée à la réduction de la consommation d'énergie. Une façade innovante doit assurer un climat intérieur confortable, la protection sonore et un éclairage de qualité tout en diminuant la demande énergétique des équipements auxiliaires.

2.2. Définition de la façade intelligente (active) :

« Une façade intelligente est un produit complexe qui s'auto-adapte par ses composants (actif ou passif) aux changements produits par son environnement ou à l'intérieur de la construction. » (Lee E et Al,2002).

Une façade "intelligente" est une façade, capable grâce à ses équipements dynamiques et éléments préfabriqués de s'adapter aux besoins de confort des occupants et d'anticiper les besoins énergétiques du bâtiment. Parmi les différents types de façades, les double-peaux permettent d'associer l'esthétique, la modernité et de bonnes performances énergétiques. Une façade double-peau (FDP) est constituée de

parois vitrées (en simple ou double vitrage) séparées par une lame d'air ventilée par deux ouvertures situées en partie basse et haute de la lame d'air et est équipée de protections solaires modulables. L'enveloppe et son influence sur les équipements du bâtiment joue un rôle très important. Parmi les différents types d'enveloppe, les FDP étudiées ici font possible l'association de l'esthétique et la bonne pratique en ce qui concerne l'ambiance intérieure.(Monika WOLOSZYN,2007).

2.3. Les différents types de façades intelligentes :

2.3.1. La façade double peau :

Les façades transparentes connaissent actuellement un développement important notamment dans l'optique du développement durable. En effet, les façades transparentes permettent un bon apport lumineux et le contrôle des transferts thermiques. Les "façades de type double-peau" (FDP), sont composées d'un vitrage intérieur et d'un vitrage extérieur séparés par un canal de 20 à 80 cm de largeur. Dans le cas d'une façade active de type double peau, le canal est mécaniquement ventilé et une protection solaire est le plus souvent présente. Cette protection permet de contrôler la pénétration de la lumière et les surchauffes dues au rayonnement solaire. La véritable question est celle de la gestion de ce type de façade : comment gérer efficacement les échanges de chaleur et l'éclairage engendré. Suivant les différentes périodes de l'année cette façade doit pouvoir répondre aux attentes de ses propriétaires.

A- Bref historique :

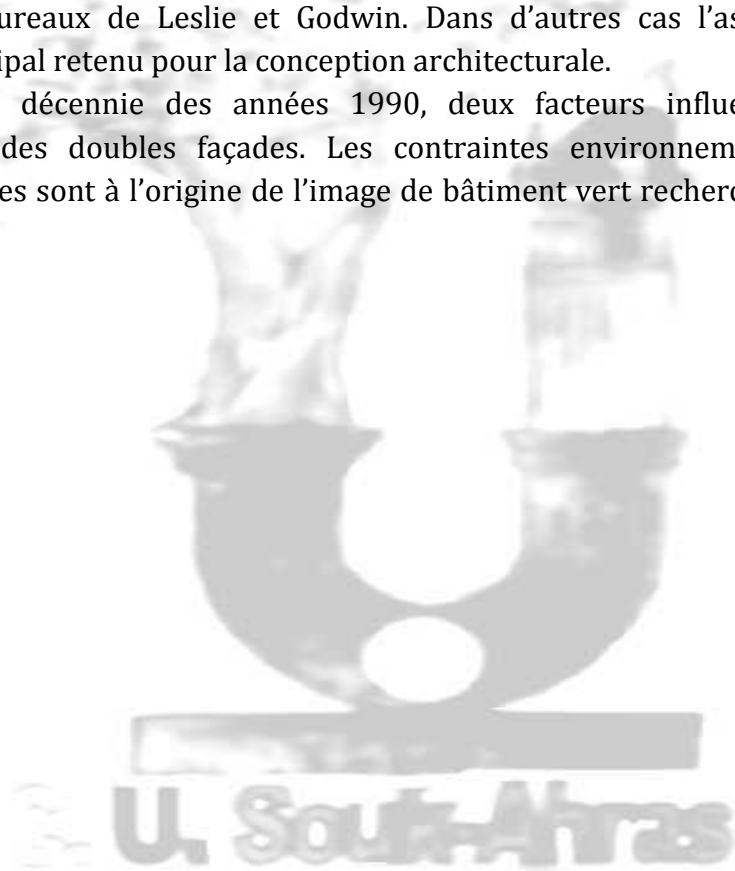
Dans la littérature, les premières références à l'utilisation de systèmes à fenêtres multiples remontent vers 1690. Afin d'améliorer l'isolation thermique des fenêtres, on conseille l'utilisation d'une « double fenêtre », rajoutée comme un écran pendant l'hiver devant la première fenêtre. L'histoire des façades en double peau est décrite dans plusieurs documents, livres, rapports et articles. Saelens, (2002) mentionne que Jean baptiste Jobard décrit en 1849, alors directeur du musée industriel de Bruxelles, une première version de façade multiple ventilée mécaniquement. Il souligne la manière dont l'air peut circuler en hiver entre les deux vitrages, ainsi qu'en été pour les phases de chauffage et de rafraîchissement.

Crespo précise que le premier exemple de façade rideau en double peau apparaît en 1903 à l'usine Steiff à Giengen en Allemagne. Selon lui, ce projet donnait la priorité à l'éclairage naturel en prenant en compte le climat froid et les vents forts de la région. La solution adoptée est une structure de trois niveaux avec un rez-de-chaussée pour un espace de stockage et deux niveaux consacrés aux espaces de travail. Devant le succès rencontré, deux bâtiments furent construits en 1904 et 1908 suivant le même principe mais avec des structures en bois au lieu de l'acier pour des raisons budgétaires. Ces bâtiments sont encore en service de nos jours. (Croix et Bassil,2008-2009)

En 1903, Otto Wagner gagna le concours pour le bâtiment Post Office Savings Bank situé à Vienne en Autriche. Le bâtiment construit en deux phases de 1904 à 1912, est conçu avec une double peau en partie zénithale pour le hall central. Entre 1920 et 1930 le concept des doubles peaux fut développé avec d'autres priorités. Deux cas peuvent être clairement identifiés. L'un en Russie où Moisei Ginzburg expérimenta le concept pour les logements

sociaux du bâtiment Narkomfin (1929), l'autre par Le Corbusier pour la conception du Centorsoyus également à Moscou. Une année plus tard, il démarrait l'étude de la Cité de Refuge (1929) et l'immeuble Clarte (1930) à Paris. Peu ou pas d'avancée sur ce type de façade vitrée n'a été constaté jusqu'à la fin des années 70 et le début de la décennie 1980. Ensuite la plupart de ces façades furent conçues dans le cadre de l'approche environnementale suivant l'exemple des bureaux de Leslie et Godwin. Dans d'autres cas l'aspect esthétique a été l'argument principal retenu pour la conception architecturale.

Au cours de la décennie des années 1990, deux facteurs influencèrent fortement le développement des doubles façades. Les contraintes environnementales associées aux aspects techniques sont à l'origine de l'image de bâtiment vert recherchée par la corporation des architectes.



B- Qu'est-ce qu'une façade active de type double-peau ?

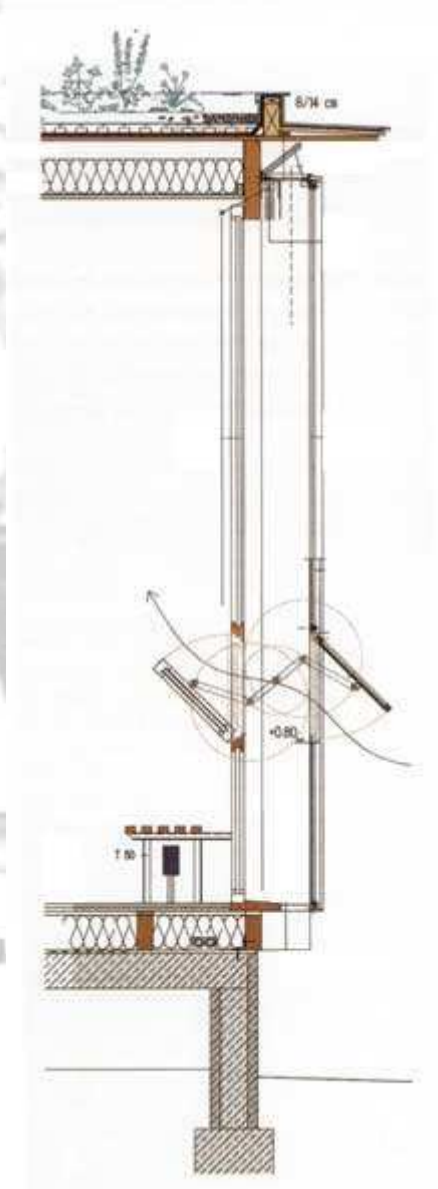


Figure II.38 : Schéma technique.(www.crit.archi.fr)

Ce que l'on appelle une façade double peau (FDP), est une superposition de deux couches de verre séparées par un espace vide, appelé canal. Dans ce dernier, circule un courant d'air maîtrisé, qui permet d'obtenir des gains énergétiques intéressants. La première couche, souvent appelée peau intérieure, est un verre isolant, souvent un double vitrage.(CROIX et BASSIL,2008-2009) La seconde couche est juste une paroi de verre simple. Elles sont équipées de clapets ou tout autre système, permettant de faire circuler l'air à travers. En général, les parois ont une entrée en bas, une sortie en haut. (X.Loncour et al,2009)

Les canaux sont des couloirs d'air qui courent le long de la façade. L'espacement des deux peaux va de 10cm à 2m.(CROIX et BASSIL,2008-2009) Cet espace peut être divisé de différentes manières pour obtenir divers effets, ou fractionner la gestion de la façade. Pour ce qui est de l'air dans les canaux, il existe différentes méthodes pour le faire circuler.(Franz Graf,1999)Ces méthodes sont en générale classées de la manière suivante : Naturelle, Artificielle ou encore hybride. La ventilation naturelle repose sur le principe de cheminée, et

la ventilation hybride allie un système mécanique pour réunir faible consommation énergétique et confort.

Une façade double-peau est dite active lorsque sa ventilation est mécanique. Dans le cas où cette dernière est hybride, à la fois naturelle et mécanique, nous l'assimilerons comme cas particulier de façade active. Une façade en verre, dû aux propriétés de celui-ci, ne protège pas des rayons du soleil. C'est pourquoi le dernier élément important dans une façade de type double peau est la protection solaire. En général, il s'agit plutôt de stores placés dans les canaux que de verres teintés, ces derniers sont beaucoup moins maniables. (Elisabeth Gratia, 2006).

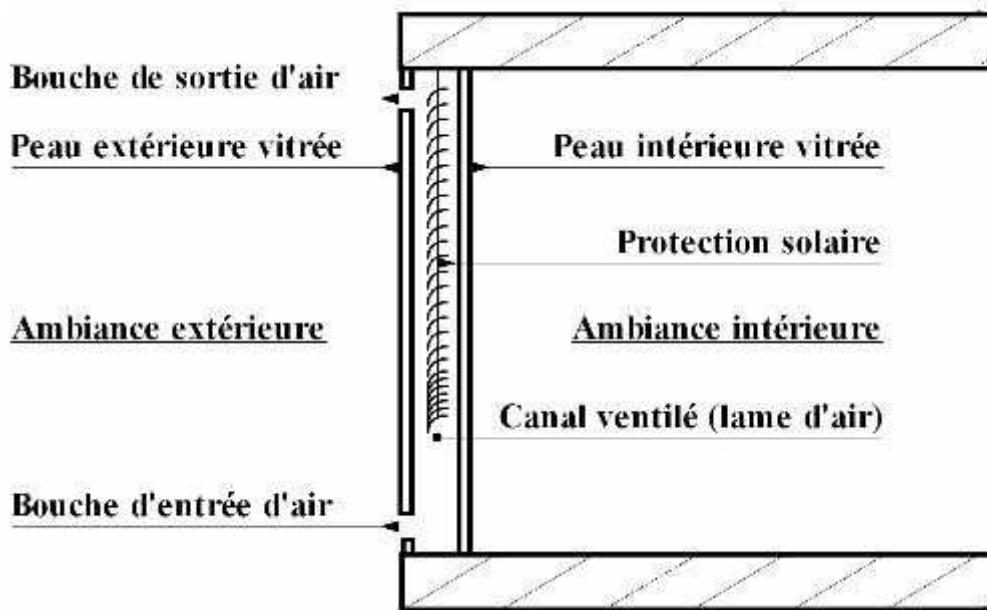


Figure II.39: Schéma d'une double-peau. (Croix et Bassil,2008-2009)

-Peau intérieure, Peau extérieure :

Dans chaque projet, les matériaux et leur géométrie sont étroitement liés. C'est pourquoi il est important de bien comprendre les différences entre les vitrages. Une vitre équipée de double vitrage, est beaucoup plus isolante qu'un simple vitrage, le coefficient de transmission d'un vitrage de 6 mm par exemple, est de $5,7 \text{ W/m}^2.\text{K}$ contre $2,5 \text{ W/m}^2.\text{K}$. (CROIX et BASSIL,2008-2009).

La peau intérieure est la couche de verre marquant la frontière entre l'environnement habitable et le canal. Elle doit être bien isolante car l'air du canal n'est pas forcément des plus confortables. En général, il s'agit d'un double vitrage. La peau extérieure est donc l'autre couche, c'est-à-dire entre le canal est l'extérieur. Son but n'est pas de déployer une grande isolation, mais bien de délimiter un canal. Elle représente quand même un premier obstacle au vent, au son, aux rayons du soleil et à la chaleur. Elle est donc constituée d'un verre simple. Il peut arriver qu'elle soit porteuse de protections solaires, sur sa surface extérieure. Ceci reste une généralité, l'emplacement du double vitrage peut être en peau extérieure dans le cas d'une façade étanche intérieure par exemple.

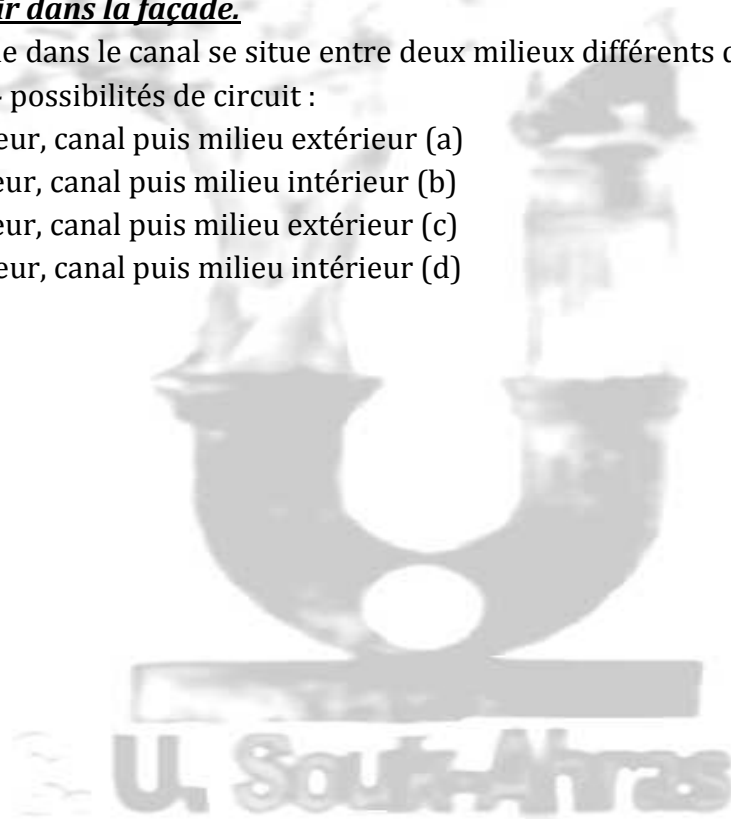
-Canal:

Le canal est l'espace délimité entre les deux couches de verre. Il s'agit du cœur de la façade. C'est là que circule l'air et sert de tampon thermique. Il peut être divisé de manière verticale, horizontale ou même les deux, pour obtenir une gestion des performances fractionnées. En général, les parois de la façade possèdent un système de bouche d'aération ou de clapets en haut et en bas pour laisser passer l'air. (Nassim Safer,2006).

-Circuit de l'air dans la façade.

L'air qui circule dans le canal se situe entre deux milieux différents que l'on va nommer 1 et 2. Il existe donc 4 possibilités de circuit :

- Milieu extérieur, canal puis milieu extérieur (a)
- Milieu intérieur, canal puis milieu intérieur (b)
- Milieu intérieur, canal puis milieu extérieur (c)
- Milieu extérieur, canal puis milieu intérieur (d)



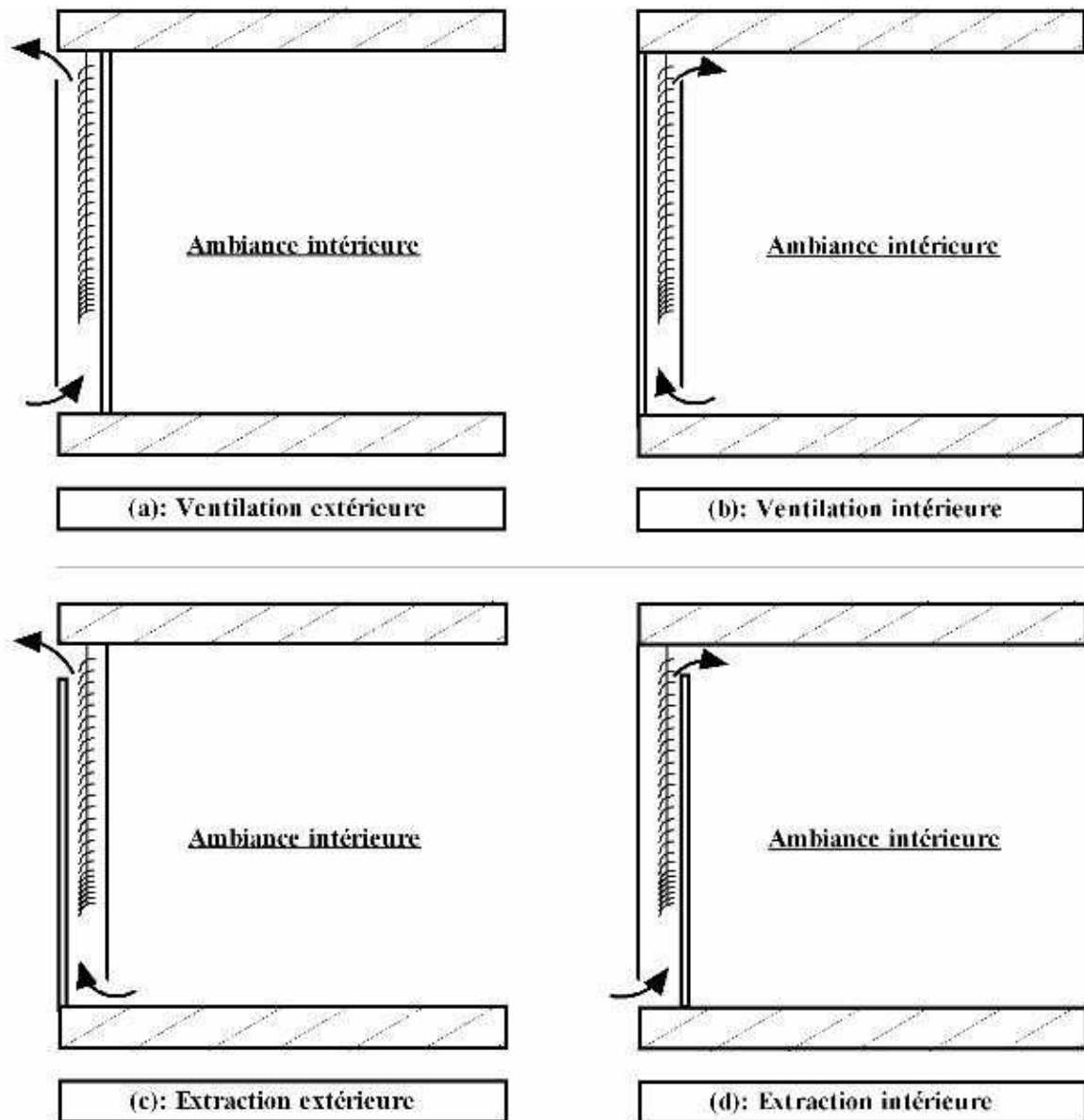


Figure II.40 : Schéma des types de circulation. (Croix et Bassil, 2008-2009)

C- Les échanges thermiques d'une façade double peau :

Entre les différentes couches de verre et les lames d'air se produisent des échanges thermiques de plusieurs types. La lumière du soleil vient frapper successivement les différentes couches de verre. Au niveau de chaque interface verre-air, une partie du rayon est transmise, une partie est réfléchi et le reste est absorbé par le vitrage.

- **Les échanges radiatifs** : Lorsque deux verres en vis-à-vis ont des températures de surface différentes, le vitrage le plus chaud cède une partie de sa chaleur au vitrage le plus froid par rayonnement. L'importance de cet échange radiatif dépend uniquement du traitement subi par les faces des vitrages.
- **Les échanges conducto-convectifs** : Le verre peut également céder de la chaleur à la lame d'air qu'il délimite afin d'éviter une surchauffe au niveau du vitrage. Accroître la distance entre les vitrages permet alors de limiter les échanges.

- **Les échanges par ventilation :** La chaleur absorbée par les verres est transmise aux lames d'air, qui ont tendance à s'échauffer. Pour limiter cet échauffement, il peut être utile de ventiler les lames d'air avec un air plus frais en été et notamment en ventilation naturelle nocturne.

D- Façade étanche.

Une façade est dite étanche lorsque l'air provient d'un milieu et retourne dans celui-ci après un séjour dans le canal. C'est une configuration assez simple. La peau la plus isolante est alors celle qui n'est pas franchie par l'air. L'air rentre dans le canal par le bas, à travers une aération, puis remonte le long du canal en subissant un réchauffement dû aux rayons solaires et à l'effet de serre causé par la peau extérieure. Il va donc voir sa pression augmenter tout au long de la remontée puis sortir par le haut du canal. L'air du haut du canal est donc en surpression par rapport à celui de l'air entrant qui est en sous-pression. L'évolution est continue, donc il existe un endroit où la pression de l'air dans le canal, et celle de l'extérieur est égale. Ce niveau s'appelle le niveau « neutre ». Il évolue en fonction des dimensions des entrées aux extrémités du canal. Par exemple, si les entrées et sorties d'air sont égales, le niveau neutre est à mi-hauteur du canal.

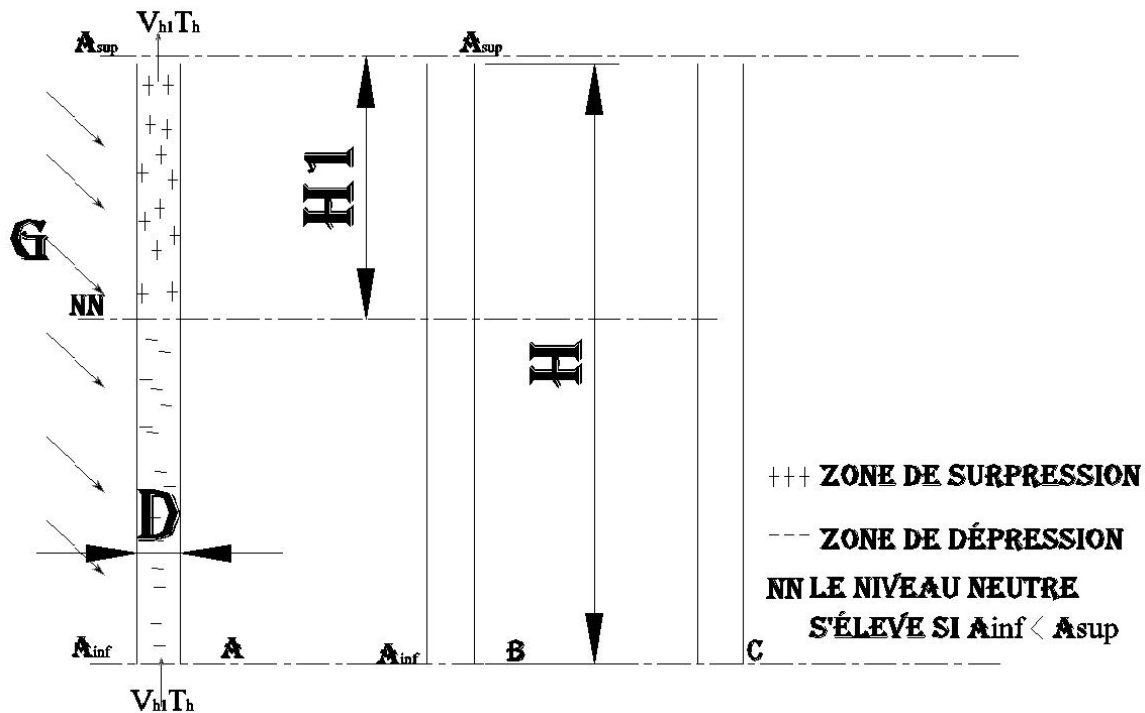


Figure II.41: Représentation du niveau neutre.(Nassim safer,2006).

Cette différence de pression est le moteur de la ventilation naturelle, elle met en mouvement les masses d'air. On peut bien sûr, compléter par un ventilateur afin d'avoir un contrôle sur ces déplacements, et être par conséquent, une façade étanche et active. Le travail du ventilateur est de prendre en charge le mouvement d'air lorsque la ventilation naturelle fait défaut. Ainsi, les performances de la façade sont diminuées due à la consommation du ventilateur mais le confort est maintenu. (Institut Technique du bâtiment,1999).



Photo II.42: Entrée d'air d'un canal. (Croix et Bassil,2008-2009)

E- Façade assurant la ventilation des locaux.

L'élaboration d'une façade assurant la ventilation des locaux est sensiblement plus complexe. Pour que l'air circule facilement, en profitant de l'effet cheminé, le niveau neutre du canal doit se trouver au-dessus de la sortie haute du canal de tous les étages. De plus, cette ouverture doit être capable d'évacuer tout l'air provenant des différents étages. Et finalement, Le circuit aérodynamique doit être équilibré et les interactions entre les étages en mouvements d'air doivent être minimisées afin d'assurer un renouvellement d'air égal entre les étages. (Nassim safer,2006).

-Espace du canal.

D'après CROIX Jean-Charles et BASSIL Charles(2008-2009) La profondeur du canal est une caractéristique qui permet là encore, un bon nombre de possibilités :

- De 5 à 50cm : ce sont les canaux les plus utilisés. Ils ne permettent pas cependant, un accès humain au canal.
- De 50 à 200cm : à partir de ces dimensions, le canal devient accessible pour la maintenance, le nettoyage, ou toute autre activité nécessitant de pénétrer dans le canal. Cet accès est un critère important dans l'élaboration d'habitations.
- Plus de 200cm : L'accès est aisé, mais cela reste surtout utilisé pour les grands atriums et espaces intérieurs.



Photo II.43: Exemple d'atrium. (Elisabeth Gratia,2006)

-Partitionnement du canal.

Lors de la construction d'un immeuble équipé d'une façade double peau, on se rend compte de la superficie de façade à réaliser. Le canal, a donc des dimensions qui peuvent être très grande. Pour des facilités de gestion, il sera partitionné. Il existe plusieurs partitionnements possibles : Le premier type de partitionnement est celui préconisé pour des immeubles de grande taille (>5 étages), est la division horizontale du canal, créant ainsi de long couloir où les propriétés thermiques de l'air sont les mêmes. Cela permet donc un plus grand confort d'utilisation car chaque étage peut gérer sa façade indépendamment les uns des autres. Le deuxième type de partitionnement est vertical. Il est le plus utilisé dans les immeuble de taille moyenne (<5 étages). Il s'agit donc de canaux en forme de cheminée. Le troisième et dernier type de partitionnement est à la fois vertical et horizontal. On permet un très grand confort d'utilisation par une individualisation du système de façade. Chaque habitant peut gérer sa propre ambiance de travail. Il s'agit alors plus de double-fenêtre que de double-façade a proprement parlé. (Elisabeth Gratia,2006).

Il est également possible de ne pas partitionner le canal de la double-peau ce qui rend la gestion générale de l'immeuble beaucoup plus difficile que dans les autres cas. C'est notamment le cas des atriums, qui possèdent des canaux de volume très impressionnant. (X. Lencour et al, 2009).



Photo II.44: Canal non partitionné. (Croix et Bassil,2008-2009).

F- Protections solaires.

L'énergie se transmet de deux façons différentes : par contact (l'air du milieu) ou par rayonnement (l'énergie des rayons solaires). Pour construire une bonne façade, il est important de contrôler tous ces apports d'énergie. En contrepartie, la façade n'a pas pour but de couper tout contact de l'habitation avec l'extérieur, mais bien d'utiliser celui-ci. Le flux lumineux en est un exemple type. Pour conserver une bonne luminosité, nécessaire à l'être humain pour vivre à l'aise, on utilise au maximum la lumière du soleil pour éviter de devoir consommer de l'énergie dans un éclairage artificiel. (Elisabeth Gratia,2006).

Les protections solaires actuelles stoppent de 80 à 85% de l'énergie solaire reçue. Les façades étudiées présentent trois milieux distincts, donc trois positions possibles pour les protections solaires : l'intérieur du bâtiment, l'intérieur du canal, et à l'extérieur. Les protections solaires placées du côté extérieur de la façade (notamment en façade sud et ouest) diminuent les surchauffes dans le canal de la façade en période estivale. Par contre, les conditions climatiques font que cette position génère des bruits considérables. De plus, les soucis de nettoyage et d'accessibilité pour l'entretien viennent se rajouter et influencent négativement sur son utilisation.

Les protections solaires placées à l'intérieur du canal de la façade présente l'inconvénient majeur de l'évacuation des apports solaires dus aux surchauffes. Ces dernières sont dues à l'effet de serre engendrée dans les canaux et à l'énergie absorbée par les protections solaires. En pratique, l'air du canal est évacué vers l'extérieur en période hivernale. S'agissant de l'accès aux protections solaires pour le nettoyage et l'entretien, les « façades de type double peau » sont généralement accessibles de l'intérieur des locaux. Enfin, en pratique les protections solaires sont positionnées dans la plupart des cas du côté intérieur du canal de la façade.

Il existe différentes protections solaires. Voici les plus couramment utilisées :

-Rideaux à bandes verticales : ce type de store est composé d'un rail horizontal placé en partie haute. Les bandes verticales sont généralement en tissu et leur largeur se situent entre 89mm ou 127mm. Une variété de choix de tissu est possible : en polyester, en fibre de verre, en screen ou tissu aluminisé et enfin en PVC pour l'occultation. Une ficelle de tirage permet de régler l'ouverture, alors qu'une chaînette oriente les bandes.(Nassim Safer,2006).

-Stores à lamelle : les stores à lamelles sont réalisés avec des lamelles flexibles en aluminium laqué, disponible en différentes largeurs : 16 mm, 25mm ou 50 mm. Les échelles et cordons de levage sont en térylène, la tige d'orientation en polycarbonate. La teinte des lamelles peut

être choisie dans un grand éventail de couleurs. Enfin, chaque face des lamelles peut avoir des caractéristiques radiatives différentes. Les mécanismes d'ouvertures et de fermetures peuvent être commandés soit par ficelle, soit par manivelle ou même être actionnés par un moteur électrique. L'utilisation des moteurs est de plus en plus généralisée. (X. Loncour et al, 2009).

-Stores à rouleau ou screen : le store à rouleau, placé sur la façade intérieure ou extérieure, est un élément régulateur qui permet de jouer avec la lumière et l'ombre en choisissant parmi plus de 120 tissus différents et plusieurs couleurs. Ce type de store est généralement guidé par des câbles ou par coulisses, fixées de face. Le mécanisme de manœuvre est géré par moteur électrique avec possibilité d'automatisme dans la plupart des cas. Une manœuvre par cordon est également envisageable. (Institut technique du bâtiment, 1999).



Photo II.45: Store à lamelles horizontales. (Croix et Bassil, 2008-2009)

2.3.2. La façade ventilée :

A- Définition :

Les façades « double peau », aussi appelées « Double Façade Ventilées », sont composées de deux façades parallèles généralement vitrées et séparées par une cavité de quelques centimètres à plusieurs mètres dans certains cas.

B-Objectif des doubles façades ventilées :

Les principales finalités de ces types de façades sont :

- la création d'une ventilation naturelle : la FDP joue le rôle d'une ventilation mécanique en utilisant l'effet du tirage thermique

- le préchauffage de l'air introduit dans le bâtiment : diminue les pertes thermiques liées au renouvellement d'air
- l'isolation acoustique
- l'optimisation du facteur de lumière du jour : permet de diminuer les consommations liées à l'éclairage.
- l'esthétique : crée un aspect « high-tech » apprécié dans les bâtiments tertiaires
- l'amélioration du confort d'été : la FDP joue un rôle de protection solaire.
- L'isolation thermique : en rénovation l'application d'une façade vitrée en complément de la paroi opaque traditionnelle peut être une solution pour diminuer les ponts thermiques.

C-Classification des doubles façades ventilées :

Les doubles façades ventilées peuvent être classées selon trois principaux critères : le type de ventilation, le compartimentage de la cavité et le mode de ventilation.

-Les trois types de ventilation :

- La ventilation naturelle: la circulation de l'air au sein de la paroi est réalisée grâce au phénomène de tirage thermique. L'effet de serre au sein de la façade crée une différence de température entre l'extérieur et la cavité ou bien entre l'intérieur du bâtiment et la cavité.
- La ventilation mécanique: la circulation d'air est créé artificiellement par des extracteurs d'air.
- La ventilation hybride: Il s'agit de l'association des deux premiers types de ventilation. C'est la solution la plus utilisée en pratique, la ventilation mécanique venant en appoint de la ventilation naturelle lorsque celle-ci ne permet pas une circulation d'air suffisante.

Nous approcherons principalement le premier type de ventilation. En effet un des intérêts qui réside dans cette éco-technique est l'utilisation du rayonnement solaire pour créer une ventilation naturelle et par la même diminuer les besoins énergétiques liés au renouvellement d'air.

-Les différents types de compartimentage :

- les façades compartimentées par étage de types corridors : la circulation d'air n'a lieu que sur la hauteur d'un étage, la largeur de la cavité permet généralement le passage d'une personne
- les façades de type « Shaft-box » : des conduits verticaux sont reliés au modules de chaque étage, permettant ainsi l'augmentation du tirage thermique.
- les façades multi-étage de types corridors : Le compartimentage est quasiment nul, la circulation d'air se fait sur toute la façade, l'effet de tirage thermique est maximum.

-Les différents modes de ventilation :

Selon la finalité d'une façade double peau le mode de ventilation va être totalement différent. Il s'agit d'un élément très important à prendre en compte lors de la conception d'une FDP. En effet, la circulation de l'air au sein de la cavité intérieure va conditionner en partie le comportement thermique et aérodynamique de la FDP et donc son influence sur le bâtiment. La gestion du mouvement de l'air dans la cavité ne dépend pas du type de ventilation utilisé mais

de la zone d'admission de l'air et de la circulation du fluide. À un instant donné, une façade est caractérisée par un sol mode de ventilation et la conception des différents types de façades n'est pas susceptible d'intégrer tous les modes de ventilation. Cependant, la conception d'une façade peut adopter plusieurs modes de ventilation à différents moments selon les composants intégrés à la façade. La distinction porte sur les modes suivants :

1-Rideau d'air extérieur :

L'air est introduit dans la cavité en provenance de l'extérieur et est rejeté vers l'extérieur directement. Cela forme un rideau d'air à l'intérieur de la cavité enveloppant la façade placée du côté extérieur.

2-Rideau d'air intérieur

L'air provient de l'intérieur du local et est repris et réinjecté à l'intérieur du local. Cela forme un rideau d'air enveloppant la façade intérieure.

3-Alimentation en air neuf

La ventilation de la façade est réalisée avec de l'air extérieur. Cet air est conduit vers l'intérieur du local ou dans le système de ventilation. La ventilation de la façade permet d'alimenter le bâtiment en air neuf.

4-Évacuation de l'air

L'air en provenance de l'intérieur du local est évacué vers l'extérieur. La ventilation de la façade permet d'évacuer l'air vicié du bâtiment.

5. Espace tampon

Dans ce cas, chacune des peaux de la façade est étanche. La cavité forme un espace tampon entre le milieu intérieur et le milieu extérieur, aucune ventilation n'étant possible.

-Éléments de conception :

La conception d'une paroi double peau doit prendre en compte de nombreux paramètres suivant la finalité de la façade.

-Cas de la ventilation naturelle :

Le dimensionnement d'une façade ventilée afin de créer une ventilation naturelle au sein d'un bâtiment reste très compliqué. Il est nécessaire de réaliser des études statiques et dynamiques afin de modéliser la circulation d'air au sein du bâtiment et de déterminer la capacité de débit d'air de l'installation. Il faut noter que ce type de paroi du fait de la circulation d'air peut avoir tendance à augmenter les déperditions thermiques par rapport à une paroi bénéficiant du même coefficient de déperdition thermique U paroi. Il est donc important de faire le bilan entre les gains réalisés sur le renouvellement d'air et l'augmentation des déperditions à travers la paroi afin de vérifier la pertinence d'une telle façade. La régulation de la ventilation travers et dans la paroi doit être conçu de manière à s'adapter aux conditions climatiques extérieur.

La liberté d'ouverture et de fermeture des organes de ventilation conditionne le mode de ventilation à travers la façade. Pour fonctionner correctement ceux-ci doivent être piloté par une gestion technique centralisée qui prendra en compte les différents paramètres de températures et débit d'air.(André P.Faist,2009).

-Les autres cas :

Dans l'objectif de créer un espace tampon afin de diminuer les déperditions d'une paroi il est important de réaliser une étude thermique dynamique pour évaluer le comportement de cette façade face à la sollicitation climatique extérieur. De même, si l'objectif de la FDP est l'isolation acoustique, l'optimisation du facteur de lumière du jour ou bien encore un intérêt purement esthétique il est primordiale d'étudier son comportement thermique. D'une part la FDP doit respecter les réglementations thermiques en vigueur et d'autre part il est important de connaître son influence sur le confort d'été et sur les besoins de chauffage du bâtiment. D'une manière générale les paramètres à prendre en compte lors de la conception d'une FDP sont :

- le facteur de transmission solaire global de la paroi g (dans le cas de deux façades vitrées)
- le coefficient de déperdition thermique U paroi (intrinsèque à la constitution de la paroi)
- l'orientation de la façade
- Les données météorologiques du site, les rayonnements solaire direct et diffus ou bien encore la température extérieur de base.

2.3.3. La façade active en lamelle de bois :



Photo II.46 : Façade active en lamelle de bois. (www.charpente-concept.com)

Ce type de façade étudié dans cette partie de recherche est un résumé d'un travail du bureau d'ingénieurs bois et ingénieurs civils associés (Buchi ;Emery ;Say ;Villar,2007) portant comme thème : Principe de fonctionnement de la façade active Lucido.

A- Le principe :

Cette façade est une façade solaire, qui se compose d'un verre solaire, un élément absorbant en bois et un mur isolant. La façade utilise l'énergie solaire, gagnée par le système et stockée dans celle-ci, comme force isolante naturelle.

Existe-t-il un système de mur, qui ne perd presque pas d'énergie en hiver?

La façade solaire est une réponse à cette question. Avec ce principe et une technique intelligente de construction, on peut améliorer l'efficacité énergétique à tel point que la perte d'énergie du bâtiment se réduit à presque zéro. Pour construire un bâtiment avec un bilan énergétique semblable à la façade solaire, il faut des murs deux à trois fois plus épais. Seule cette façade permet d'emmagasiner plus d'énergie qu'elle n'en a besoin.

La façade solaire à lamelle en bois est un principe utilisable pour tous types de construction et de rénovation. Ce type de façade est capable de produire, avec l'énergie solaire, plus d'énergie qu'elle n'en a besoin. De ce fait, le bilan énergétique d'une construction avec une façade en principe solaire est excellent ; celle-ci utilise de 50% à 100% moins d'énergie qu'une façade conventionnelle.

B- Les éléments de la construction

La façade se compose de peu d'éléments et est conçu selon les principes de la construction modulaire. La bonne qualité des matériaux garantit la durabilité du système. En plus de sa fonction, les éléments donnent à la façade une esthétique unique. Les principes de la construction modulaire permettent de s'adapter à tous les types architecturaux.

-Le panneau absorbant

Le point essentiel de ce principe est l'élément absorbant. Cet élément est constitué d'une lame en bois avec une structure lamellaire horizontale. Cette lame transforme l'énergie lumineuse en chaleur. Le bois (sapin/épicéa ou mélèze) qui constitue cet élément et provient des forêts indigènes qui sont exploitées de manière écologique. L'élément absorbant peut être d'aspect naturel ou teint.

-Le verre solaire

A l'extérieur, devant l'élément absorbant du principe, un verre solaire est installé. Ce verre est renforcé. Il remplit une fonction énergétique du fait qu'il laisse passer la quasi-totalité de l'énergie solaire (92%). La surface structurée du verre réfléchit l'énergie solaire superflue en été et laisse passer les rayons en hiver. De plus, le verre solaire protège le panneau en bois des intempéries.

B- La construction du mur :

La combinaison du verre solaire, de l'élément absorbant en bois et du mur isolant forme la façade solaire. Un mur neuf ou existant, massif ou en bois assure la fonction statique de la façade solaire. La lame de bois à structure lamellaire est fixée sur le mur porteur. Le verre solaire constitue la couche extérieure, celle-ci étant éloignée de la lame bois, il reste une lame d'air qui permet l'aération nécessaire pour le transport de la vapeur d'eau et de l'air chaud vers l'extérieur. Ce principe permet, à l'inverse des murs assurant une bonne isolation, une très faible épaisseur de paroi (env. 220mm pour la construction bois et 340mm pour la construction massive). La fabrication de la façade peut être effectuée par toutes entreprises, de préférence locales, en construction bois qui ont de l'expérience en maison ossature bois ainsi qu'une connaissance en construction de fenêtres (pose du verre solaire).

D- La fonction

La façade solaire récupère de l'énergie solaire, laquelle a un effet isolant et de chauffage pour le bâtiment. Cette enveloppe de bâtiment fonctionne selon le même principe qu'une serre. Les rayons du soleil passent à travers le verre et pénètrent dans la structure lamellaire. La chaleur des rayons solaires est tout d'abord absorbée par le bois, puis l'intégralité du mur se réchauffe lentement. Après 4 à 12 heures, la chaleur a traversé l'épaisseur du mur et dans la soirée, la chaleur arrive à l'intérieur du bâtiment. Cette façade agit ainsi dans la nuit en tant qu'enveloppe chauffante et isolante du bâtiment. La chaleur emmagasinée durant la journée est diffusée durant la nuit et le matin, le cycle recommence avec le lever du soleil. Grâce à l'effet chauffant et isolant de ce principe, les pertes en énergie sont quasi nulles.

-En hiver

Afin que ce principe fonctionne, il faut prendre en compte les différentes positions du soleil en été ainsi qu'en hiver. Les lamelles sont taillées de telle façon qu'en hiver les rayons du soleil puissent pénétrer jusqu'au fond de l'entaille, permettant ainsi une transformation optimale du rayonnement. En période hivernale, une faible quantité de lumière suffit pour d'une part, réchauffer la façade solaire et, d'autre part, isoler le bâtiment de la manière la plus appropriée. D'autres sources d'énergies renouvelables sont nécessaires pour fournir l'apport en chaleur, afin d'atteindre une température intérieure optimale. Des économies d'énergie gigantesques sont possibles grâce aux réductions de perte d'énergie dues à l'effet isolant de la façade solaire. Les lamelles horizontales des lames en bois sont légèrement inclinées. Ainsi, les rayons solaires hivernaux, plus bas qu'en été, peuvent ainsi pénétrer de manière optimale entre les lamelles et transmettre la chaleur. Un minimum d'apport d'énergie de chauffage est ainsi suffisant pour compenser les pertes d'énergie.

-En été

En été, lorsque le soleil est haut, les rayons solaires arrivent sur la façade avec un angle très élevé. La majeure partie des rayons est réfléchi par le verre solaire. L'énergie restante parvient jusqu'aux chants des lamelles et réchauffe l'air contenu entre le verre et l'absorbeur. L'air ainsi réchauffé est ainsi transporté par convection thermique vers

l'extérieur. Les lamelles de l'absorbeur travaillent aussi dans ce sens, puisque du fait de leur inclinaison et de l'angle élevé des rayons du soleil, les cavités sont ombragées évitant ainsi une surchauffe de la façade. Grâce à l'interaction du verre solaire, des lamelles légèrement inclinées et de l'isolation thermique du mur, une surchauffe dans le bâtiment est empêchée. Les lamelles permettent un bénéfice maximum d'énergie en hiver et l'effet inverse en été.

E- A quoi correspond le concept d'une construction avec une façade solaire :

Pour remplir les conditions exigées, ce principe ne suffit pas, il est nécessaire de mettre en œuvre d'autres matériaux et sources d'énergie. Une des possibilités peut-être la suivante :

- L'association de la façade solaire à de bonnes fenêtres permet une efficacité énergétique optimale et un gain d'énergie par l'enveloppe du bâtiment.
- Une bonne isolation du sol et du toit permet de diminuer les pertes d'énergie et, par la même occasion, de récolter l'énergie solaire et terrestre nécessaire.

Il est possible de construire ou de rénover tous les types de bâtiment avec ce principe de façade solaire. Qu'il s'agisse de maisons individuelles, d'immeubles, d'écoles, de salles de sport, de maisons de retraite, d'usines, de banques ou de tous autres types de bâtiments, l'application de ce principe est envisageable. Il n'y a pas de limite à la rénovation, car il est possible d'assainir tous les types de bâtiments, qu'ils soient en bois ou en béton avec ce principe de façade.

F- L'écologie

L'efficacité énergétique de la façade solaire rend le bâtiment écologiquement intéressant, du fait que cette construction consomme de 50% à 100% de moins d'énergie qu'une maison conventionnelle. L'apport supplémentaire d'énergie est, à l'inverse de la plupart des autres bâtiments, possible à l'aide de sources d'énergie renouvelables. La majeure partie des matériaux utilisés dans la construction est naturelle et peut être recyclée sans impact sur l'environnement. L'occupant d'une construction utilisant ce principe peut se vanter d'avoir une consommation d'énergie bien inférieure à la moyenne, ceci grâce aux qualités écologiques du système.

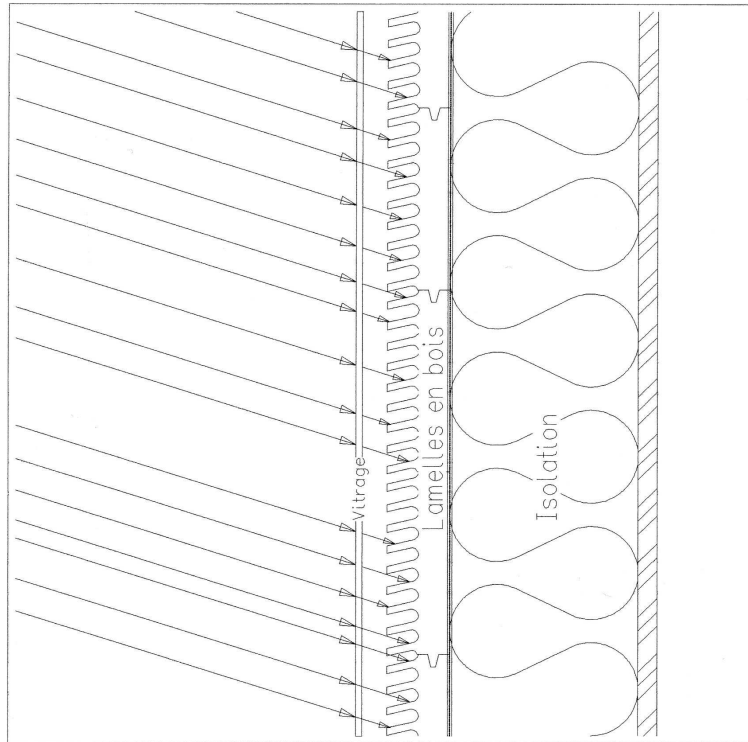


Figure II.47: Comportement de la paroi en hiver. (Buchi ;Emery ;Say ;Villar,2007)

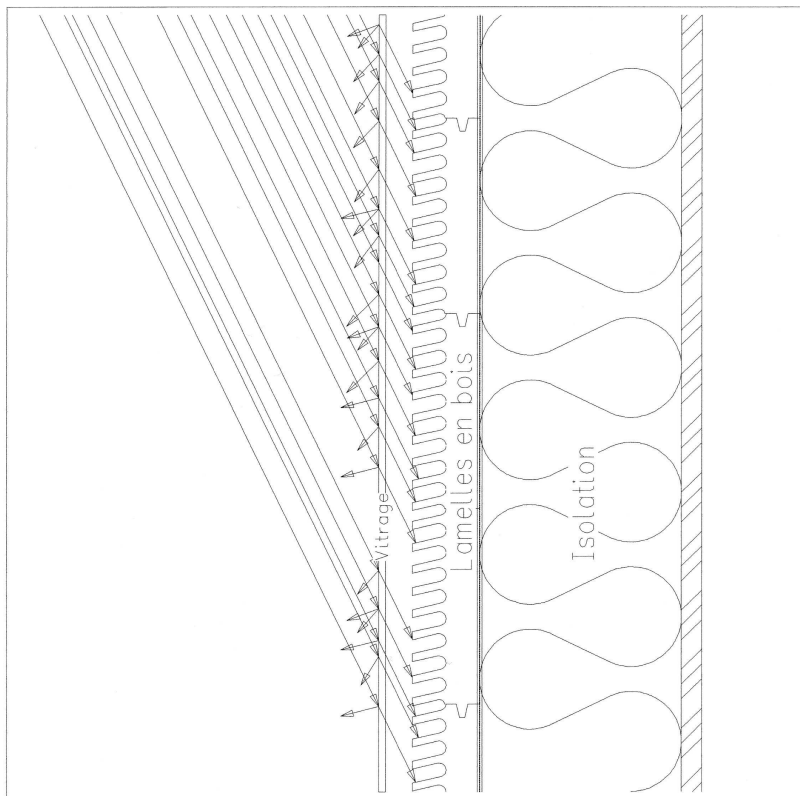


Figure II.48: Comportement de la paroi en été. (Buchi ;Emery ;Say ;Villar,2007)

G- L'entretien

En ce qui concerne les lamelles en bois, du fait qu'elles sont protégées des intempéries par le verre solaires, la durabilité des lamelles est excellente, ainsi que la teinte. Concernant le verre solaire, la façade construite avec le principe solaire ne sollicite aucun entretien, la structure du verre minimise les insalubrités sur celui-ci. Cependant, il faut envisager un entretien tous les 15 à 20 ans du verre solaire.



Photo II.49: Exemples de construction avec des façades solaires.(www.charpente-concept.com)

2.3.4. Une façade intelligente grâce à des brise-soleil automatisés :



Photo II.50: Une façade intelligente grâce à des brise-soleil automatisés .(Frédérique Vergne,2009).

A- Description :

Ce système est élaboré par Frédérique Vergne (2009) par un article paru aux éditions du moniteur. Le système est composée d'une double peau ; à l'extérieur une menuiserie vitrée simple vitrage, ou un mur rideau simple vitrage, et à l'intérieur, placé à 42 cm, le composant de façade dynamique solaire, qui se présente sous la forme d'un brise soleil à lames isolantes thermiques de 9 cm d'épaisseur, équipées d'un traitement particulier et différent sur chacune des faces. Le système s'oriente automatiquement selon l'angle du soleil. Fermé, il forme une paroi opaque, véritable manteau isolant thermique protecteur, identique à un mur très bien isolé et atteint un coefficient de transmission thermique U de 0,35 W/m².K. Ouvert, le procédé constitue une surface vitrée transparente à la lumière et au rayonnement solaire et affiche suivant certains effets, un facteur solaire SW de 0,8, traduisant sa capacité à transmettre la chaleur solaire à l'intérieur de l'habitation.



Photo II.51: Description de la façade intelligente.(Frédérique Vergne,2009).

B- Changement de comportement en quelques secondes

Le concept de gestion thermique du bâtiment est toujours basé sur les mêmes notions, que l'on soit en hiver ou en été : un contrôle et une gestion du rayonnement solaire reçu :c'est la gestion de l'outil et un écrêtement positif, passif ou actif des surchauffes d'hiver et d'été ; c'est la gestion de l'air et des masses thermiques, sous la permissivité thermodynamique Ce changement de comportement du système se fait en quelques secondes par gestion informatique, avec un coût énergétique quasi nul. Entre ces deux stades, il va traiter les situations transitoires notamment les gènes habituelles induites par le rayonnement solaire direct ou la surchauffe momentanée induite ; mais sans jamais en perdre le bénéfice thermique.

Installé en façade sud, il constitue aussi un mur Trombe d'hiver ou d'été. Technique rustique d'architecture bioclimatique, l'effet Trombe, sectorisé, trouve une place pertinente à certains moments de la période journalière et tout au long de l'année, surtout en demi-saison et en été. L'énergie solaire est transmise à travers la paroi vitrée et la chaleur est rediffusée à l'intérieur ou expurgée en extérieur.

C- Une orientation automatisée en fonction de la position du soleil

Les brise-soleil orientables permettent au bâtiment de réagir face aux différentes positions du soleil ; ils vont optimiser les flux de chaleur et l'apport en lumière au travers de la façade. Le système créé un effet miroir vers le plafond et les murs, qui peuvent recevoir le rayonnement et emmagasiner les calories sans gêner l'utilisateur. Ici, toutes les masses thermiques sont sollicitées alors qu'en règle générale il n'y a que le sol qui reçoit le rayonnement. Ces masses stockent et restituent lentement l'énergie. Cette diffusion homogène va produire une sensation de cocon. Le seuil de température de confort est ainsi abaissé par l'effet cocon, la qualité de l'air n'en est que plus évidente, et l'économie énergétique est déjà améliorée sur ce seul critère. « Le constat est évident, aucun mode de chauffage ou de climatisation n'est nécessaire. Mais au-delà des gains énergétiques, c'est le côté ludique d'appropriation de la lumière naturelle, l'esthétique dans le comportement dynamique, et surtout la sensation d'une adéquation sensorielle, au quotidien, avec le climat qui enrichit l'espace ».(Frédérique Vergne,2009).

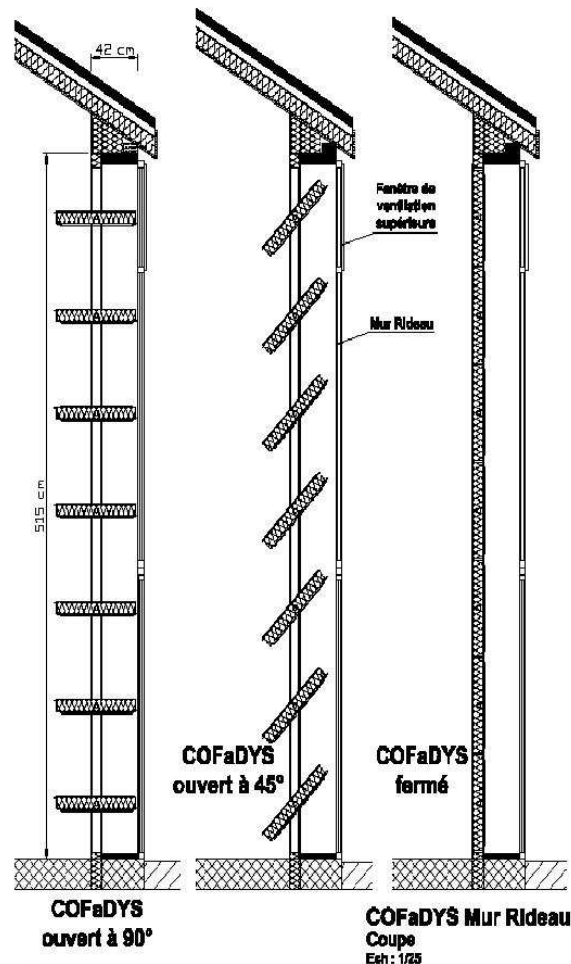


Figure II.52: Principe de fonctionnement. (Frédérique Vergne, 2009).

D- Diminution, voire suppression des besoins de chauffage

En été, le brise soleil, qui évacue les rayonnements solaires, conjugué à l'effet du mur Trombe, crée une sur-ventilation à l'intérieur de la pièce et ainsi supprime les besoins de climatisation. Si le cœur du système repose sur son automatisme avec une programmation des angles d'incidence selon ceux du soleil, il est possible à l'utilisateur de reprendre la main grâce à une télécommande. L'utilisateur va agir sur l'automatisme et donc générer des interférences négatives. Une feuille de route prévisionnelle suivant les espaces et les taux d'interférences va initier des ajustements conceptuels au système (passage à du vitrage isolant par exemple). Avec cet élément de façade dynamique breveté et en cours de validation, il est possible de maximiser le confort intérieur et de réduire les besoins du bâtiment. En liant la gestion de ce système à une gestion double flux de l'air et à un traitement des masses thermiques en déphasage actif, on supprime tous besoins en chauffage et en climatisation.

Conclusion :

Malgré les dommages causés à l'environnement dans le passé par la construction immobilière, les experts conviennent que la construction de bâtiments plus verts et intelligents qui prend en considération leur impact sur l'environnement et le modifie est en train de se faire réalité.

3^{ème} Partie

Cas d'étude

**Chapitre-I- LE TRANSFERT DE CHALEUR,
RAPPELS ET GÉNÉRALITÉS.**

Chapitre-II- EXEMPLE D'APPLICATION.

Chapitre I
Le transfert de
chaleur



Introduction

Lorsqu'on parle de « transferts thermiques » on cherche à expliquer la façon dont les transferts de chaleur se font ainsi que leur vitesse. Le principe de la thermodynamique spécifie que le transfert de chaleur se fait du corps chaud vers le corps froid, ou de façon équivalente d'une température élevée vers une température plus basse. Le système ne sera donc pas en équilibre thermique durant le transfert. Ainsi on parle de transfert thermique pour décrire un échange de chaleur lié à une différence de température. Les transferts de chaleur au niveau de l'enveloppe des bâtiments se font essentiellement par conduction dans la matière immobile, par convection dans les fluides, par rayonnement dans les milieux transparents et par évaporation – condensation de vapeur d'eau.

(Michel Macary,2007).

1. Le bâtiment est un gros consommateur d'énergie :

Dans les pays industrialisés, les bâtiments consomment une partie importante de l'énergie utilisée par la société et, en conséquence, ils sont source d'une partie non négligeable de la pollution. Cette énergie est l'objet de nombreux usages, notamment:

- Le chauffage et/ou le refroidissement, pour assurer un climat intérieur confortable
- La circulation de fluides tels que l'air (ventilation), l'eau (eau chaude, chauffage)
- Les transports (ascenseurs)
- L'éclairage
- Les communications (téléphone, radio, télévision)

-La production de biens (fabriques, cuisines, couture, etc.) Dans les climats tempérés et froids. La plus grande part de l'énergie utilisée par un bâtiment sert au chauffage. Le flux de chaleur généré dans le système de chauffage aboutit inévitablement à l'extérieur par différentes voies plus ou moins directes. Dans les climats plus chauds, il peut être nécessaire et en tous cas confortable d'abaisser la température intérieure des bâtiments. Ce refroidissement, et l'assèchement de l'air sous les tropiques peut aussi être un grand consommateur d'énergie.(Thierry SALOMON,2000).

2. Applications de l'énergétique du bâtiment

Selon un cours thermique et construction durable ENSA Montpellier – Semestre2 présenté par Daniel FAURE(2007). Pour limiter la consommation d'énergie à des valeurs raisonnables, il est nécessaire de savoir où agir. Il faut donc pouvoir prédire les flux d'énergie dans le bâtiment, afin d'agir là où les mesures d'économie d'énergie seront les plus efficaces et les mieux à même d'offrir un confort élevé. La connaissance des flux d'énergie au travers d'un bâtiment est nécessaire à la prise de décisions ou à la planification de travaux, notamment pour les tâches suivantes:

- Tenir compte de tous les critères voulus dans le choix de stratégies possibles lors de rénovation ou de construction d'ensemble d'immeubles. Parmi les critères à envisager, il y a non seulement le coût, l'esthétique ou l'habitabilité, mais aussi la consommation d'énergie.
- Dimensionner correctement les installations énergétiques, en calculant la puissance de pointe minimum nécessaire;
- Prévoir la consommation annuelle et la minimiser en choisissant la variante la plus économique globalement, tout en tenant compte du confort et des contraintes architecturales.

3. Rappels de physique du bâtiment

3.1. La température :

La température T peut-être repérée par une échelle quelconque. Toutefois nous n'en utilisons que deux :

-L'échelle des degrés Celsius dont le zéro correspond à la température de fusion de la glace ($^{\circ}\text{C}$). Il ne s'agit que d'un simple repérage ;

-L'échelle des degrés Kelvin dont l'origine est le zéro absolu, limite inférieure des températures ($^{\circ}\text{K}$). Seule cette échelle présente un réel sens physique: en $^{\circ}\text{K}$ la température représente la potentielle thermodynamique. Le 0 absolu correspond à -273°C .

Pour désigner des écarts ΔT peu importe l'échelle ($^{\circ}\text{C}$ ou $^{\circ}\text{K}$).

3.2. Le pont thermique :

Il est causé par des défauts de réalisation au niveau de l'enveloppe et peut être aussi dus à une rupture totale ou partielle de l'isolation ce qui provoque un flux de chaleur très dense.

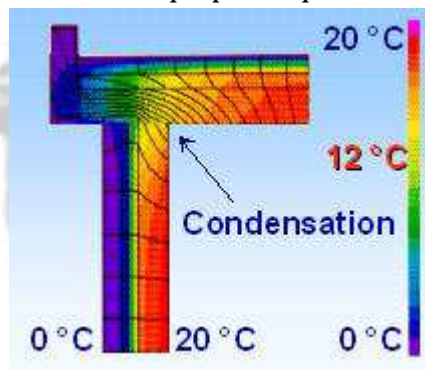


Figure III.1 : Ponts thermiques. (Daniel Bernstein et al,2007)

La figure montre le phénomène du pont thermique par une coupe verticale d'un raccord de toiture, cette dernière illustre le pont thermique qui s'y produit. On remarque clairement que les lignes noires quittent leur orientation perpendiculaire à la surface pour se concentrer à l'endroit du raccord. La température est $\approx 12^{\circ}\text{C}$ mais comme le pont thermique n'est pas surfacique, son calcul se fait par des logiciels de calculs qui permettent d'obtenir la valeur exacte de déperditions linéaire et non surfaciques du pont thermique et d'évaluer le risque de condensation. Dans un bâtiment moyennement isolé, le pont thermique constitue 10% des déperditions totales.(Daniel Bernstein et al,2007)

3.3. Capacité thermique

La chaleur est l'énergie liée à l'agitation aléatoire des molécules constituant la matière. Cette agitation se mesure par la température, et la chaleur par l'augmentation de température obtenue dans un matériau donné. Pour chauffer une masse m [kg] d'un matériau de chaleur spécifique c [J/kg K], de la différence de température ΔT [K], il faut une quantité de chaleur Q [J] donnée par l'expression ci-dessous:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \text{ (Philippe Roux,2006).}$$

3.4. Modes de transfert de chaleur

La chaleur passe naturellement de zones chaudes aux zones froides, en utilisant essentiellement trois modes de transport:

-La conduction :

La conduction est définie comme étant le mode de transfert de chaleur provoqué par la différence de température entre deux régions d'un milieu solide, liquide ou gazeux, il s'établit un transfert continu de chaleur de la région chaude à la région froide.(Philippe Roux,2006).

Avec :

$$\phi = \lambda \cdot S \cdot \frac{\delta T}{\delta x} \text{ (CRDE,2007)}$$

- φ Flux de chaleur transmis par conduction (W)
- λ Conductivité thermique du milieu (W m-1 °C-1)
- x Variable d'espace dans la direction du flux (m)
- S Aire de la section de passage du flux de chaleur (m2)

La conduction est le cas particulier où la non-uniformité de la température entraîne un transfert d'énergie d'un point à un autre du système sans transport de matière. Pour les solides, seul ce transport est possible. Ex : Une barre de métal que l'on chauffe à l'une de ses extrémités, de sorte que la chaleur se propage peu à peu le long de cette barre jusque vers l'autre extrémité.(BUAT Veronique,2012).

Matériau	λ (W.m-1. °C-1)	Matériau	λ (W.m-1. °C-1)
-Argent	419	-Plâtre	0.48
-Cuivre	386	-Amiante	0.16
Aluminium	204	-Bois (feuillu-résineux)	0.12-0.23
-Acier doux	45	-Liège	0.044-0.049
-Acier inox	15	-Laine de roche	0.038-0.041
-Glace	1.88	-Laine de verre	0.035-0.051
-Béton	1.4	-Polystyrène expansé	0.036-0.047
-Brique terre cuite	1.1	-Polyuréthane, mousse	0.030-0.045
-Verre	1.0	-Polystyrène extrudé	0.028
-Eau	0.60	-Air	0.026

Tableau 3 : Conductivité thermique de certains matériaux. (Liébard et Herde,2006)

-La convection :

La convection thermique est le mode de transmission qui implique le déplacement d'un fluide, liquide ou gazeux. Dans un fluide, il est pratiquement impossible d'assister à de la conduction pure car le moindre gradient de température entraîne des courants de convection, c'est-à-dire un transport de masse. On distingue deux types de convection, la convection naturelle (libre) et la convection forcée (ventilation). (H. Hofmann,2012).

$$P = h \cdot S (T1 - T2)$$

h = f (nature du fluide, T1, . T2) = coefficient d'échange par convection.

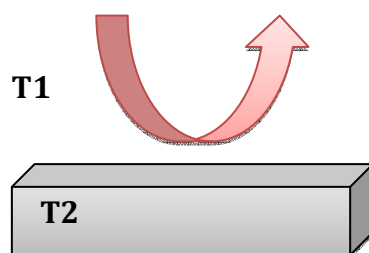


Figure III.2 : La convection

La convection naturelle apparait spontanément, elle se produit dans un fluide au sein duquel existe un gradient de température. C'est le cas dans une pièce où l'air chaud produit au niveau du sol va monter au plafond tandis que l'air froid va descendre. Le mouvement est dû au fait que l'air chaud est moins dense que l'air froid et monte donc sous l'effet d'une force d'Archimède.

La convection forcée se produit quand le mouvement du fluide est imposé par une intervention extérieure, par exemple une pompe ou un ventilateur.

Quel que soit le mode de convection, le transfert d'énergie entre la surface d'un corps solide à la température T et le fluide environnant se fait par conduction thermique puisque la vitesse du fluide est nulle à la surface du corps solide.(Philippe Roux,2006).

Type de convection	Fluide	$h(Wm^{-2} K^{-1})$
-Convection naturelle	-air	5 à 50
	-eau	100 à 1000
-Convection forcée	-air	10 à 500
	-eau	100 à 15000
	-huile	50 à 1500
	-métaux liquides	5000 à 250000

Tableau 4 : Grandeurs des coefficients de transfert convectifs h. (Philippe Roux,2006).

-Le rayonnement :

On entend par rayonnement thermique, l'émission d'énergie susceptible de se transmettre dans le vide, il s'agit du rayonnement électromagnétique. Dans la pratique, le rayonnement s'effectue en présence d'un gaz, c'est la raison pour laquelle le rayonnement est rarement le seul type d'échange thermique mis en jeu : la convection et la conduction sont également présentes. Peut être défini comme l'échange de chaleur entre deux parois séparées par un milieu transparent.(Philippe Roux,2006).

Pour les équations du rayonnement, T s'exprime en Kelvin. Les matériaux transparents qui transmettent le rayonnement solaire visible ne transmettent pas nécessairement les radiations infrarouges. Le verre, qui laisse pratiquement traverser l'ensemble du rayonnement solaire l'atteignant, absorbe par contre presque tout le rayonnement thermique qu'il intercepte, infrarouge proche ou lointain. Cette propriété du verre est une véritable aubaine pour le captage de l'énergie solaire. Une fois que la lumière naturelle a traversé le vitrage et se trouve absorbée par les matériaux intérieurs, le rayonnement thermique émis en retour par ces matériaux se trouve comme emprisonné par le verre. Cela ne signifie pas que les pertes par rayonnement vers l'extérieur soient annulées. Le verre absorbe certes le rayonnement thermique pour lequel il est opaque, mais il rayonne à son tour, aussi bien vers l'extérieur que vers l'intérieur. Toutefois sa température d'émission étant plus faible, les déperditions le sont aussi.(CERTU,2002).

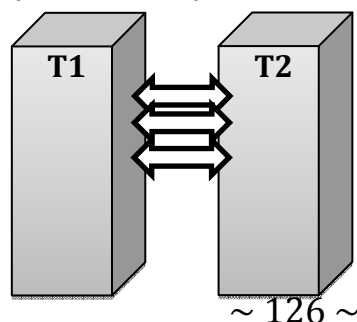


Figure III.3 : Le rayonnement.

4. Les déperditions par transmission :

Les déperditions thermiques au travers de l'enveloppe constituent la première source de refroidissement des édifices. L'utilisation des matériaux isolants ainsi que la limitation de la surface de l'enveloppe permet de limiter significativement ces pertes de chaleur.

4.1. Déperditions par les parois opaques. (M. Le Paige et al, 1986)

Lorsqu'un matériau est soumis à des différences de température en son sein, il naît un flux de chaleur q qui tend à l'équilibre des températures. Ce flux de chaleur dépend de la différence entre les températures et des caractéristiques du matériau :

$$q = c \cdot (T_1 - T_2).$$

La constante de proportionnalité c dépend de l'épaisseur e de la paroi entre les deux températures données et de la conductivité thermique λ , qui mesure la capacité propre du matériau à conduire la chaleur :

$$c = \lambda / e$$

Par conséquent, plus l'épaisseur du matériau est importante, plus c diminue. et plus la conductivité thermique augmente, plus c augmente.

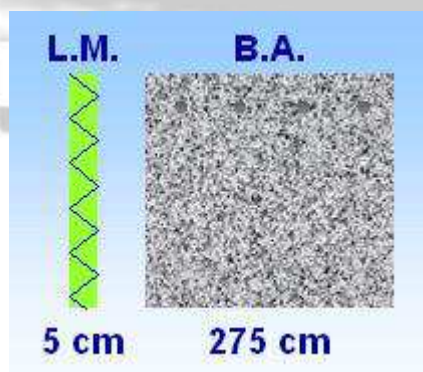


Figure III.6 : Comparaison entre l'épaisseur du béton armé et laine minérale.
(www.energie2.arch.ucl.ac.be)

La valeur de λ est faible pour les matériaux isolants et importants pour les matériaux conducteurs. Les matériaux sont considérés comme isolants lorsque leur conductivité thermique est inférieure à 0,065 W/m.K. La figure compare l'épaisseur nécessaire pour qu'une paroi en béton armé (2,2 W/m.K) présente les mêmes caractéristiques qu'une paroi idéale en laine minérale (0,04 W/m.K). Les matériaux lourds de maçonnerie ne constituent donc jamais une isolation acceptable. La présence d'eau à l'intérieur du matériau influence sa conductivité thermique. La porosité intrinsèque des matériaux, conjuguée à leur exposition à l'eau, peut faire varier sensiblement leur conductivité thermique. La figure indique, pour quelques matériaux du bâtiment, les valeurs λ en condition sèche et en condition humide. Celle des matériaux isolants n'est donnée qu'en

condition sèche car il est déconseillé de les utiliser là où ils pourraient s'humidifier (condensation, vapeur d'eau, etc.). Leur performance isolante décroît alors très sensiblement. Les métaux, matériaux non poreux, ont une conductivité thermique constante. (M. Le Paige ;E. Gratia ;A. De Herde ,1986).

Lorsque deux faces d'une paroi sont soumises à des différences de température, il naît un flux de chaleur q qui tend à l'équilibre des températures. Ce flux de chaleur dépend de la différence entre les températures et du pouvoir isolant de la paroi :

$$q = k (T_{int} - T_{ext}).$$

D'après Alain Liébard et André De Herde.(2006).On définit généralement k comme l'inverse d'une résistance, ce qui simplifie l'écriture des calculs.Le transfert de la chaleur s'effectue :

- par convection et rayonnement entre l'ambiance intérieure et la face intérieure de la paroi ;
- par conduction au sein de la paroi ;
- par convection et rayonnement si la paroi comprend une couche d'air ;
- par convection et rayonnement depuis la face extérieure de la paroi vers l'ambiance extérieure.

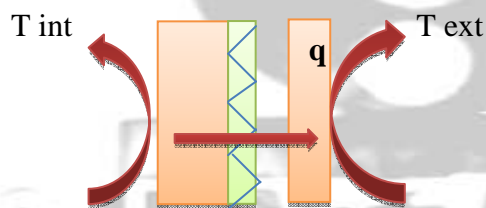


Figure III.7 : Densité de flux de chaleur à travers une paroi homogène.

R_t = résistance thermique totale de la paroi.

$$R_t = R_i + \sum \frac{e}{\lambda} + \sum R_a + R_e$$

$$K = 1/R_t$$

Le coefficient k mesure le pouvoir isolant d'une paroi en tenant compte des différents matériaux ou couches d'air qui la composent, de leurs épaisseurs (e), et des conditions d'exposition aux ambiances intérieure et extérieure. La figure synthétise ces calculs :

- R_i représente la résistance d'échange surfacique de la paroi vis-à-vis de l'intérieur ;
- e est l'épaisseur, en mètre, de chaque matériau intervenant dans la composition de la paroi
- λ représente la conductivité thermique de ces mêmes matériaux ;
- R_a représente les résistances au flux de chaleur dues à la présence éventuelle de couches d'air ;
- R_e représente les échanges par convection (effet du vent) et rayonnement (voûte céleste, corps froids) vis-à-vis de l'extérieur.

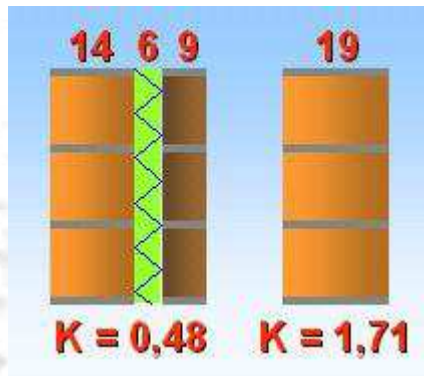


Figure III.8 : Valeur K d'un mur isolé et un autre non isolé. (Daniel Bernstein et al,2007)

Il apparaît rapidement que le coefficient k est déterminé par la présence, la nature et l'épaisseur des matériaux isolants. La figure compare les valeurs k d'un mur isolé et d'un mur non isolé. Pour que le mur non isolé présente une valeur k égale à celle du mur isolé, l'épaisseur de la maçonnerie de brique isolante devrait passer de 19 cm à 90 cm. Un isolant peut se placer de diverses manières dans un mur (à l'extérieur, en sandwich ou à l'intérieur) sans influencer la qualité d'isolation thermique de la paroi. Cependant, sa position modifie l'inertie de la paroi ainsi que le risque de condensation.(A. De Herde,1996).

4.2. Déperditions par les parois vitrées.

Les vitrages représentent les points faibles de l'isolation thermique du bâtiment, mais leurs performances ne cessent de s'améliorer. Grâce aux différents assemblages et traitements aujourd'hui disponibles, les vitrages peuvent mieux jouer leur rôle en assurant une bonne isolation thermique et un bon affaiblissement acoustique et en garantissant la sécurité des biens et des personnes. Plus le vitrage utilisé est isolant (coefficient k faible), plus les déperditions thermiques à travers sa surface sont réduites en hiver et plus le vitrage est chaud en face intérieure. Il s'ensuit que la température de l'air ambiant doit être moins élevée pour assurer le confort de l'occupant (définition de la température de confort ressentie).

La figure présente les coefficients de déperdition thermique k pour des vitrages clairs : simple vitrage, double vitrage et double vitrage à basse émissivité ainsi que les proportions d'énergie réfléchi, transmise et absorbée permettant le calcul du facteur solaire(FS).

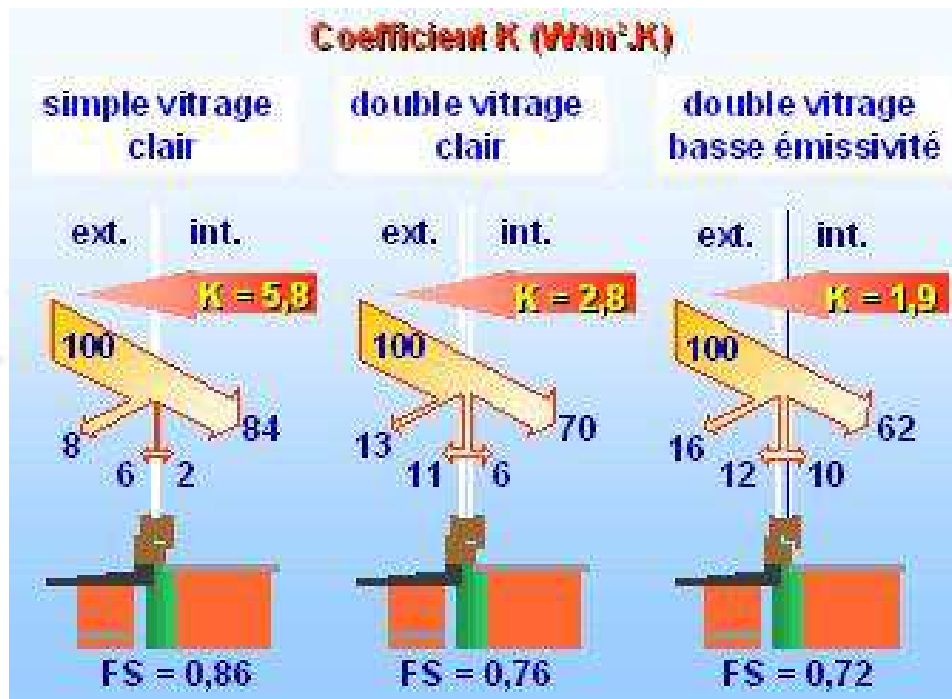


Figure III.9 : Coefficient K des différents types de vitrages.
(Alain Liébard , André De Herde.2006).

Différents moyens ont été mis en œuvre pour réduire la transmission thermique au droit des vitrages.

-Premier moyen

Le premier a été de diminuer les pertes par conduction en intercalant entre deux vitrages un excellent isolant, transparent, disponible et gratuit : l'air immobile sec. L'air présente, en effet, une grande résistance thermique pour autant que les mouvements de convection soient empêchés. La capacité d'isolation de ces vitrages dépend de l'épaisseur de la lame d'air : plus celle-ci sera épaisse, plus le vitrage sera isolant (au-delà de 20 mm, des courants de convection apparaissent et le gain d'isolation disparaît). Les valeurs k de ces vitrages sont comprises entre 2,76 et 3,59. Sur le même principe, on a conçu les triples vitrages. Les valeurs K sont alors comprises entre 1,90 et 2,61.

-Deuxième moyen

Une autre voie consiste à agir sur les caractéristiques de surface du verre. Le vitrage à basse émissivité est recouvert d'une mince couche d'oxyde métallique parfaitement transparent, qui permet de réduire considérablement l'émission des infrarouges vers l'extérieur. Les vitrages peuvent disposer d'une ou de deux couches à basse émissivité, mais on peut également remplacer la couche d'air par un gaz rare (argon, krypton) dont la conductivité thermique est plus faible que l'air. Ces gaz sont non toxiques et ininflammables. Les valeurs k de ces vitrages sont comprises entre 1,13 et 2,40.

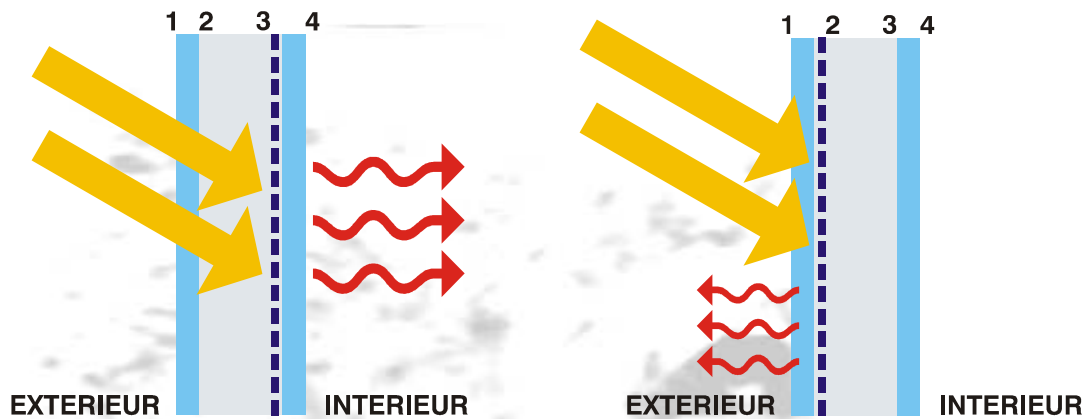


Figure III.10 : Moyen pour réduire la transmission thermique.
(Alain Liébard , André De Herde.2006).

Selon Alain Liébard , André De Herde (2006). Si la couche basse émissivité est placée en face 3 la majorité de la chaleur absorbée par le vitrage est réémise vers l'intérieur, augmentant ainsi le facteur solaire du vitrage. Ce vitrage est donc plus adapté aux climats froids. Si la couche basse émissivité est placée en face 2, la chaleur absorbée par le vitrage et réémise sous forme d'infrarouge de grande longueur d'onde, sera principalement réémise vers l'extérieur. Le facteur solaire du vitrage est donc diminué et ce vitrage convient mieux aux climats chauds. De nombreux matériaux expérimentaux permettent aujourd'hui d'atteindre des valeurs k comprises entre 0,3 et 0,7, comparables à celles des parois isolées. Citons pour mémoire les "super fenêtres" (triple couche, basse émissivité, gaz rare), les «vacuums Windows" (vide maintenu entre les deux vitrages), les fenêtres à aérogel (mousse microporeuse transparente et isolante), les "smart windows". Ces dernières consistent en un film de cristaux liquides, intercalé dans le vitrage. Un champ électrique suffit à orienter les cristaux pour que le vitrage devienne transparent.

Chapitre II
Exemple
d'application



1. Introduction :

Vu l'intérêt écologique et énergétique qu'offre les façades actuelles, une petite analyse s'avère nécessaire pour bien comprendre le rôle que joue les enveloppes ou façades vitrées dans la conservation des énergies et le respect de l'environnement.

Nous allons essayer dans ce chapitre et avec des calculs simples sur le transfert de chaleur mais sans trop détailler les paramètres sachant que plusieurs facteurs influent les résultats trouvés tel que la forme de la façade étudiée ainsi que la valeur du facteur solaire local en fonction de l'orientation du bâtiment sans oublier l'utilisation de la climatisation et du chauffage centrale par les occupants. Les calculs se feront sur une façade vitrée et des calculs simplifiés pour pouvoir démontrer l'intérêt d'avoir des façades spécifiques a éléments préfabriqués qui entrent dans sa composition du point de vue écologique, avec un gain énergétique.

2. Présentation du lieu d'étude :

2.1 Situation géographique :

La wilaya de Souk Ahras se situe à l'extrême est du pays, près de la frontière tunisienne, à 640 kilomètres d'Alger. Souk Ahras s'est hissée au rang de wilaya, en vertu du découpage administratif de 1984. Elle est limitée au nord-est par la wilaya de Tarf, au nord-ouest par la wilaya de Guelma, au sud par la wilaya de Tébessa, au sud-ouest par la république tunisienne. La wilaya di Souk Ahras occupe une superficie de 4360 km². Elle se subdivise en 10 daïras et 26 communes qui regroupent près de 454000 habitants. Souk Ahras est distante de 97 km de l'aéroport international et du port de Annaba, elle est également à 40km de la lié d'Elle-hadada.



Figure III.9: carte géographique de la wilaya de souk ahras.

2.2. Le climat :

Le climat de Souk Ahras est influencé par des facteurs qui lui donnent des caractéristiques spécifiques. Distante de 80 km de la mer Méditerranée, la pénétration des courants marin et humide est aisée. La ville de Souk Ahras est située dans un cuvette, entourée d'un relief

montagneux. De ce fait, la ville est caractérisée par un climat semi-humide. Souk-Ahras se distingue par un été chaud et un hiver froid et humide et la **pluviométrie** atteint une moyenne de 800 mm par an.



Données climatiques à Souk Ahras.

Mois	jan.	fév.	mar.	avr.	mai	jui.	jui.	aoû.	sep.	oct.	nov.	déc.	année
Température minimale moyenne (°C)	3,9	3,9	5,6	6,7	10,6	13,9	16,7	17,8	15,6	11,7	7,8	5	10
Température moyenne (°C)	8,9	10	11,7	13,9	17,8	21,7	25,6	26,7	22,8	18,9	13,9	10	16,7
Température maximale moyenne (°C)	13,9	15	17,8	20,6	25	30	38	40	30,6	25,6	20	15	22,8
Précipitations (mm)	111,76	81,28	101,6	71,12	45,72	22,86	2,54	10,16	45,72	104,14	109,22	137,16	840,74

Tableau 5 : Données climatique de Souk Ahras. Source : Weather Reports, statistiques sur 121 ans³.

3. Moyens utilisés :

Afin d'aboutir à des résultats, nous nous sommes basés sur quelques logiciels de calculs et de dessin d'architecture tel que : Auto cad 2011, Archi cad. Pour la température, un simple thermomètre, les températures sont prises dans une période d'une semaine.

4. Description du cas d'étude :

Le bloc étudié est un bloc administratif (rectorat) du centre universitaire Souk Ahras. La façade principale qui fascine par sa transparence et apporte la lumière et permet aussi la vue sur l'extérieur, est orientée en plein sud-est, se compose d'un mur rideau de 08m90 et d'une largeur de 26m30 s'étalant sur 03 étages. Malgré les nombreux avantages qu'offre ce mur rideau du point de vue esthétique, ses références techniques jouent un rôle primordial dans la détermination de son aspect écologique. D'où là l'utilité d'étudier ou d'analyser sa performance coté déperditions et gains énergétiques. Le mur rideau étudié ici se compose d'un double vitrage 6.12.6 (6mm de verre teinté de l'extérieur, 12 mm de lame d'air et 6mm de verre clair à l'intérieur).

Il faut démontrer son efficacité du point de vue du confort visuel et celui des individus que des consommations énergétiques. Les différents éléments qui forment le mur rideau influent les performances de la façade et du bâtiment sous les divers aspects du bilan énergétique, des confort thermiques, visuels et acoustiques. L'étude portera sur une comparaison entre un

mur rideau avec un simple vitrage et un autre avec un double vitrage, celui réalisé en réalité, du point de vue gains énergétiques et du taux(flux) de chaleur transmis d'un milieu a un autre et à quel point cette enveloppe peut garder et conserver la chaleur en hiver comme en été.



Photo III.10 : Plan de situation de l'université de souk ahras.





Photo III.11 : Vue aérienne de l'université de souk ahras.



Photo III.12: Université de Souk Ahras.



Photo III.13: Façade étudiée de l'université de Souk Ahras.



Photo III.14: Vue latérale de la façade étudiée.

5. Calcul du flux de chaleur à travers une vitre simple et une autre double :

-Les données :

- Surface total du mur rideau=234 m²
- Surface du vitrage brute=212.5m²
- Surface des cadres en aluminium=21.5m²
- Epaisseur du verre=6mm
- Epaisseur de lame d'air=12mm
- Conductivité** : *Vitre → $\lambda=1\text{w/m.}^\circ\text{C}$
- *Aluminium → $\lambda=230\text{w/m.}^\circ\text{C}$
- *Air → $\lambda=0.026\text{w/m.}^\circ\text{C}$

-Températures :

- *Période estivale : $T_{\text{int}}=28^\circ\text{C}$ $T_{\text{ext}}=40^\circ\text{C}$
- *Période hivernale : $T_{\text{int}}=20^\circ\text{C}$ $T_{\text{ext}}=0^\circ\text{C}$

-Pour l'air : vue qu'il y'a convection entre l'air et le matériau, on suppose

$$h_{\text{int}}=7.5\text{w/m}^2.\text{}^\circ\text{C}$$

$$h_{\text{ext}}=15\text{w/m}^2.\text{}^\circ\text{C}$$

-Calcul pour un simple vitrage :

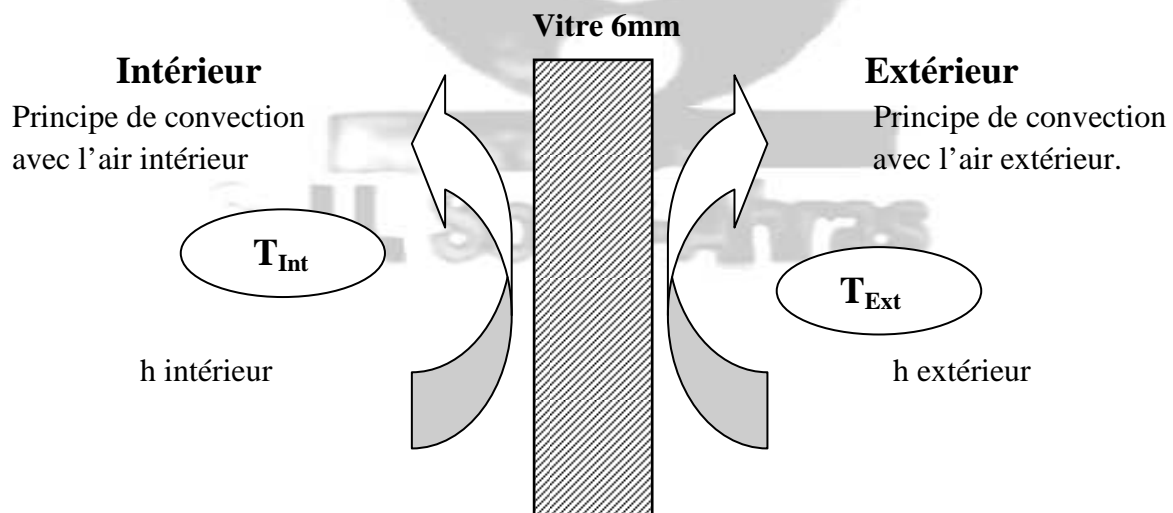


Figure III.15: Principe de convection pour un simple vitrage.

1. Calcul de la résistance R de la surface vitrage brute :

$$R_{\text{vitre}} = \frac{1}{h_{\text{int}} \times S} + \frac{e}{\lambda \times S} + \frac{1}{h_{\text{ext}} \times S}$$

Avec :

R : résistance ($m^2 \cdot ^\circ C/W$).

h int : $7.5 w/m^2 \cdot ^\circ C$.

h ext : $15 w/m^2 \cdot ^\circ C$.

e : épaisseur de la vitre (m). $e=6mm=0.006m$

S : surface de transfert (m^2).

λ : conductivité ($w/m \cdot ^\circ C$).

$$R_{\text{vitre}} = \frac{1}{7.5 \times 212.5} + \frac{0.006}{1 \times 212.5} + \frac{1}{15 \times 212.5}$$

$$R=0.00062+0.0000282+0.000313 \rightarrow R=0.00096 m^2 \cdot ^\circ C/W$$

2. Calcul du flux de chaleur transmis Φ dans le vitrage brute:

$$\Phi = \frac{\Delta T}{R_{\text{vitre}}}$$

-En période estivale :

En considérant la température intérieur $28^\circ C$ et à l'extérieur de $40^\circ C$.

$$\Phi = \frac{40-28}{0.00096} \rightarrow \Phi=12500W$$

-En période hivernale :

En considérant la température intérieur $20^\circ C$ et à l'extérieur $0^\circ C$.

$$\Phi = \frac{20-0}{0.00096} \rightarrow \Phi=2833.33W$$

3. Calcul de la résistance **R** de la surface en aluminium :

$$R_{\text{alum}} = \frac{1}{h_{\text{int}} \times S} + \frac{e}{\lambda_{\text{alum}} \times S} + \frac{1}{h_{\text{ext}} \times S}$$

$$R_{\text{vitre}} = \frac{1}{7.5 \times 21.5} + \frac{0.05}{230 \times 21.5} + \frac{1}{15 \times 21.5} \rightarrow R=0.00620+0.000010+0.000310$$

$$R=0.00652 m^2 \cdot ^\circ C/W$$

4. Calcul du flux de chaleur transmis Φ dans l'aluminium:

$$\Phi_{\text{alum}} = \frac{\Delta T}{R_{\text{alum}}}$$

-En période estivale :

En considérant la température intérieur $28^\circ C$ et à l'extérieur de $40^\circ C$.

$$\Phi_{\text{alum}} = \frac{40-28}{0.00652} \rightarrow \Phi_{\text{alum}}=1840.50 W$$

-En période hivernale :

En considérant la température intérieur $20^\circ C$ et à l'extérieur $0^\circ C$.

~ 140 ~

$$\dot{Q} = \frac{20 - 0}{0.00652} \rightarrow \dot{Q}_{alum} = 3067.48 \text{ W}$$

5. Calcul du flux de chaleur total \dot{Q} du simple vitrage :

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{vit} + \dot{Q}_{alum}$$

Donc :

-En période estivale :

$$\dot{Q}_{total} = 12500 + 1840.50 \rightarrow \dot{Q}_{total} = 14340.50 \text{ W}$$

-En période hivernale :

$$\dot{Q}_{total} = 20833.33 + 3067.48 \rightarrow \dot{Q}_{total} = 23900.81 \text{ W}$$

6. Calcul des températures pour le simple vitrage :

-En été : du milieu extérieur au milieu intérieur (de 40°C → 28°C).

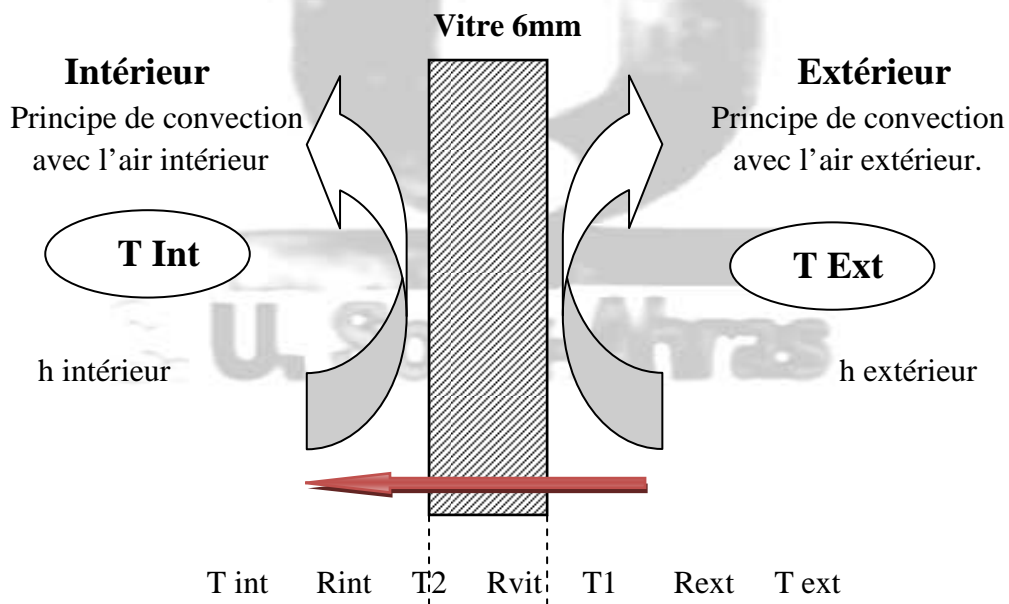


Figure III.16: Représentation de la direction de la chaleur pour un simple vitrage en été.

$$\dot{Q} = \frac{T_{ext} - T_1}{R_{ext}} \rightarrow T_1 = T_{ext} - (\dot{Q} \cdot R_{ext})$$

$$T_1 = 40 - (12500 \times 0.000313) \rightarrow T_1 = 36.08^\circ \text{C}$$

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{R_{vitre}} \rightarrow T_2 = T_1 - (\dot{Q} \cdot R_{vitre})$$

$$T_2 = 36.08 - (12500 \times 0.0000282) \rightarrow T_2 = 35.72^\circ \text{C}$$

-Profil de température d'été :

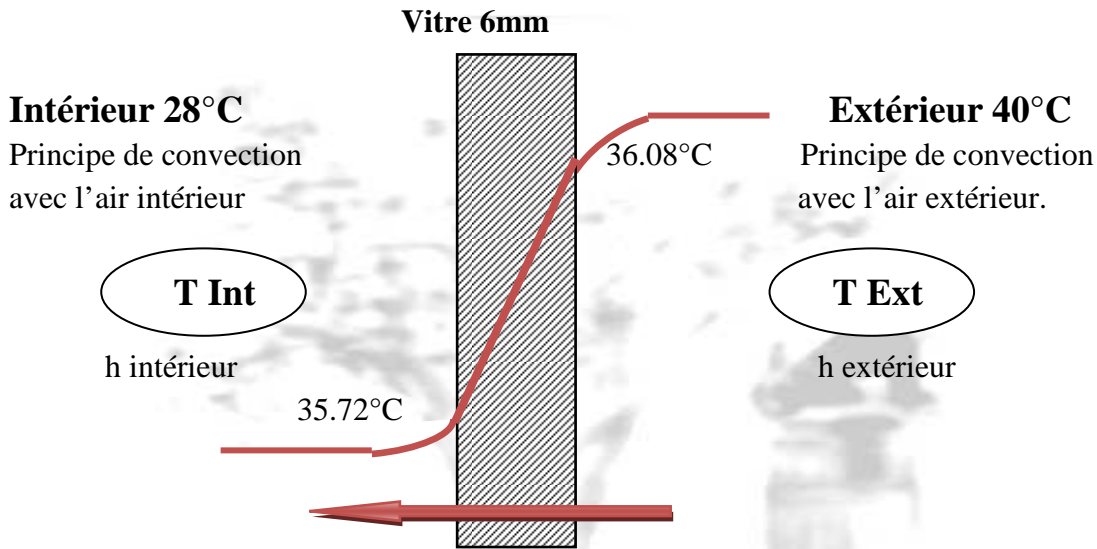


Figure III.17: Profil de température en été.

-En hiver: du milieu intérieur au milieu extérieur (de 28°C→40°C).

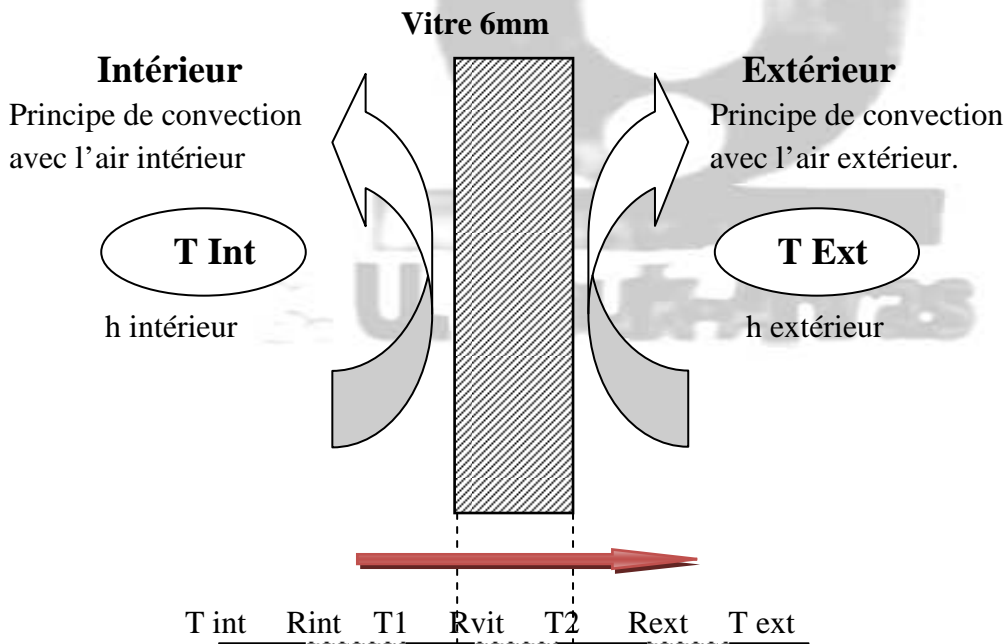


Figure III.18: Représentation de la direction de la chaleur pour un simple vitrage en hiver.

$$\varnothing = \frac{T_{int} - T_1}{R_{int}} \rightarrow T_1 = T_{int} - (\varnothing \cdot R_{int})$$

$$T_1 = 20 - (20833.33 \times 0.00062) \rightarrow T_1 = 7.08^\circ\text{C}$$

$$\varnothing = \frac{T_1 - T_2}{R_{vitre}} \rightarrow T_2 = T_1 - (\varnothing \cdot R_{vitre})$$

$$T_2 = 7.08 - (20833.33 \times 0.0000282) \rightarrow T_2 = 6.50^\circ\text{C}$$

- Profil de température d'hiver :

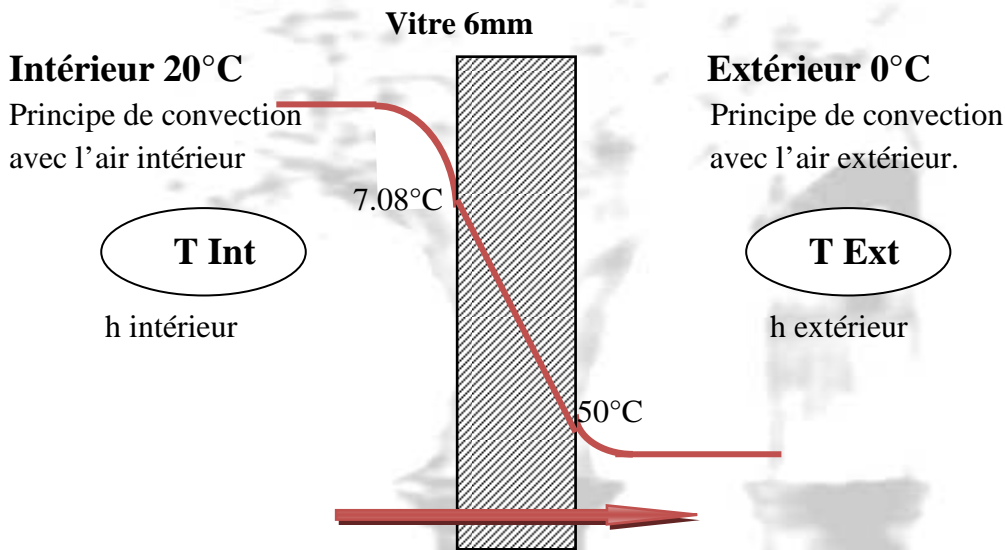


Figure III.19: Profil de température en hiver.

-Calcul du flux de chaleur à travers un double vitrage : 6-12-6mm :

Le double vitrage qui constitue la paroi du mur rideau étudié ici est composé d'un verre teinté de l'extérieur de 6mm d'épaisseur et de 12 mm de lame d'air et un autre verre clair de 6mm.

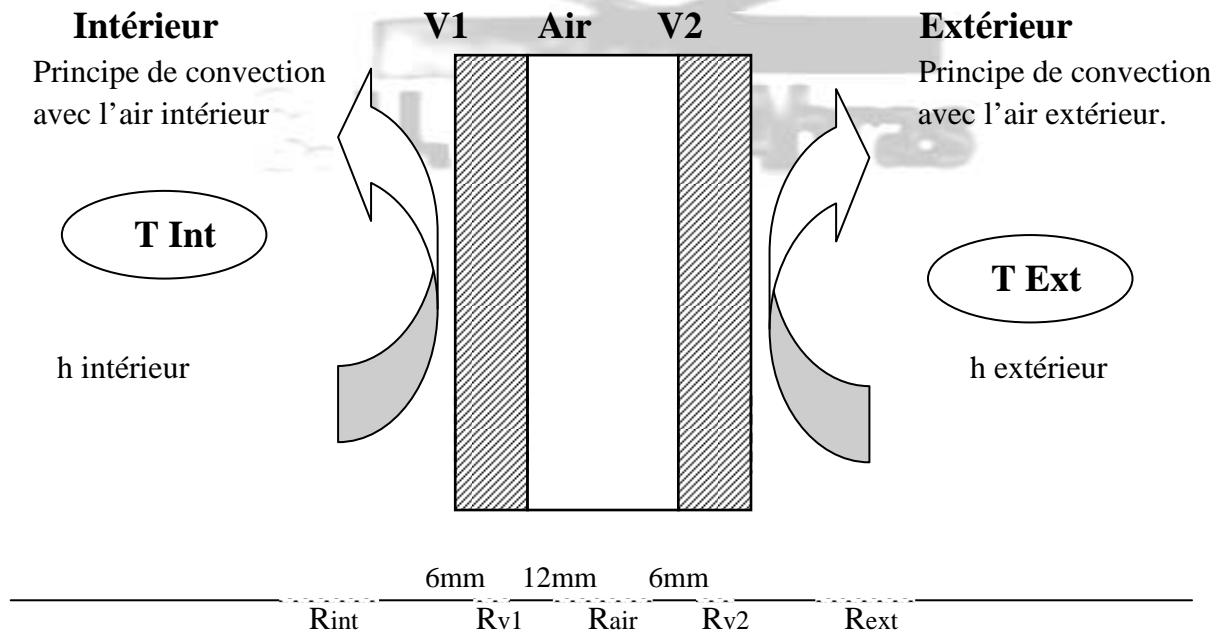


Figure III.20: Représentation d'un double vitrage.

1. Calcul de la résistance équivalente du vitrage brute: (les résistances en série par le principe d'analogie électrique).

$$R_{\text{vitre}} = \frac{1}{h_{\text{int}} \cdot S} + \frac{e_1}{\lambda \cdot S} + \frac{e_{\text{air}}}{\lambda_{\text{air}} \cdot S} + \frac{e_2}{\lambda \cdot S} + \frac{1}{h_{\text{ext}} \cdot S}$$

$$R_{\text{vitre}} = \frac{1}{7,5 \times 212,5} + \frac{0,006}{1 \times 212,5} + \frac{0,012}{0,026 \times 212,5} + \frac{0,006}{1 \times 212,5} + \frac{1}{15 \times 212,5}$$

$$R_{\text{vitre}} = 0,000620 + 0,0000282 + 0,00217 + 0,0000282 + 0,000313$$

$$R_{\text{vitre}} = 0,00315 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

2. Calcul du flux de chaleur Φ traversant le vitrage brute :

$$\Phi = \frac{\Delta T}{R_{\text{total}}}$$

Donc :

-En période estivale :

$$\Phi = \frac{40 - 28}{0,00315} \rightarrow \Phi = 3809,52 \text{ W}$$

-En période hivernale :

$$\Phi = \frac{20 - 0}{0,00315} \rightarrow \Phi = 6349,20 \text{ W}$$

3. Calcul du flux total (vitre+aluminium) :

$$\Phi_{\text{total}} = \Phi_{\text{vitre}} + \Phi_{\text{alum}}$$

-En été :

$$\Phi_{\text{total}} = 3809,52 + 1840,50 \rightarrow \Phi = 5650,02 \text{ W}$$

-En hiver :

$$\Phi_{\text{total}} = 6349,20 + 3067,48 \rightarrow \Phi = 9416,68 \text{ W}$$

4. Calcul des températures pour le double vitrage (6-12-6) :

-En été : du milieu extérieur au milieu intérieur (de 40°C → 28°C).

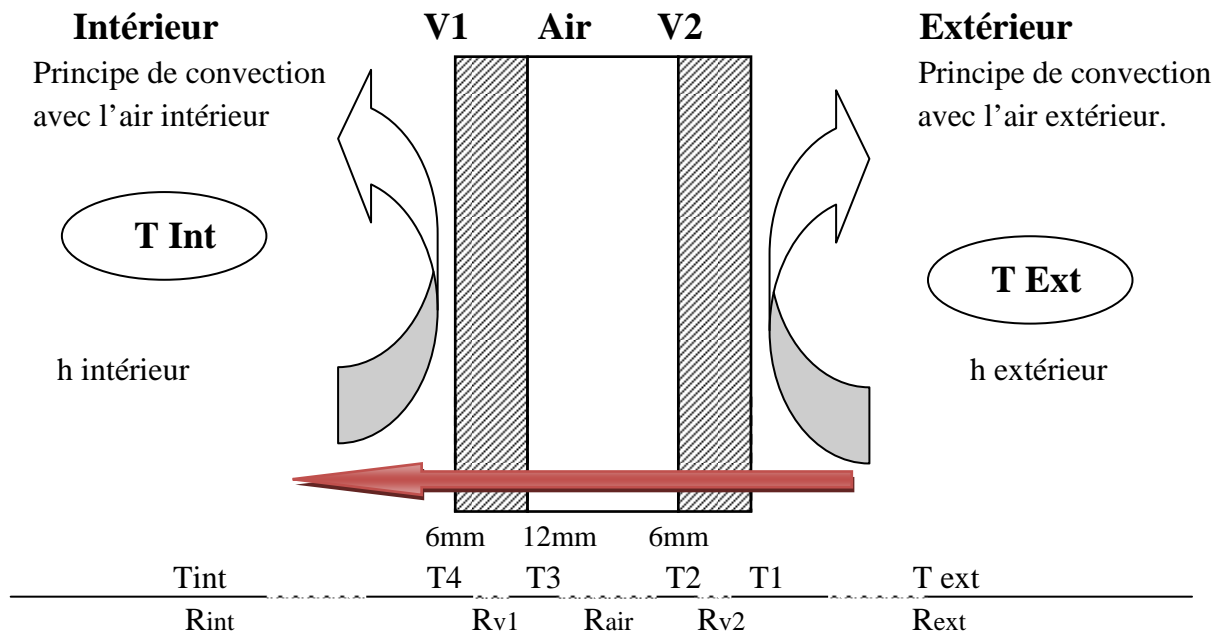


Figure III.21: Représentation de la direction de la chaleur pour un simple vitrage en été.

$$\Phi = \frac{T_{ext} - T_1}{R_{ext}} \rightarrow T_1 = T_{ext} - (\Phi \cdot R_{ext})$$

$$T_1 = 40 - (3809.52 \times 0.000313) \rightarrow T_1 = 38.80^\circ\text{C}$$

$$\Phi = \frac{T_1 - T_2}{R_v} \rightarrow T_2 = T_1 - (\Phi \cdot R_v)$$

$$T_2 = 38.80 - (3809.52 \times 0.0000282) \rightarrow T_2 = 38.69^\circ\text{C}$$

$$\Phi = \frac{T_2 - T_3}{R_{air}} \rightarrow T_3 = T_2 - (\Phi \cdot R_{air})$$

$$T_3 = 38.69 - (3809.52 \times 0.00217) \rightarrow T_3 = 30.42^\circ\text{C}$$

$$\Phi = \frac{T_3 - T_4}{R_v} \rightarrow T_4 = T_3 - (\Phi \cdot R_v)$$

$$T_4 = 30.42 - (3809.52 \times 0.0000282) \rightarrow T_4 = 30.31^\circ\text{C}$$

$$\Phi = \frac{T_4 - T_{int}}{R_{int}} \rightarrow T_{int} = T_4 - (\Phi \cdot R_{int})$$

$$T_{int} = 30.31 - (3809.52 \times 0.00062) \rightarrow T_{int} = 28^\circ\text{C}$$

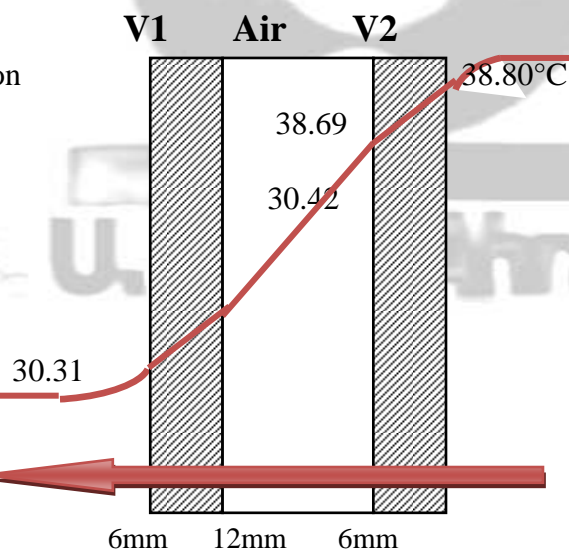
- Profil de température d'été :

Intérieur 28°C

Principe de convection avec l'air intérieur

T Int

h intérieur



Extérieur 40°C

Principe de convection avec l'air extérieur.

T Ext

h extérieur

Figure III.22: Profil de température en été.

-En hiver: du milieu intérieur au milieu extérieur (de 28°C→40°C).

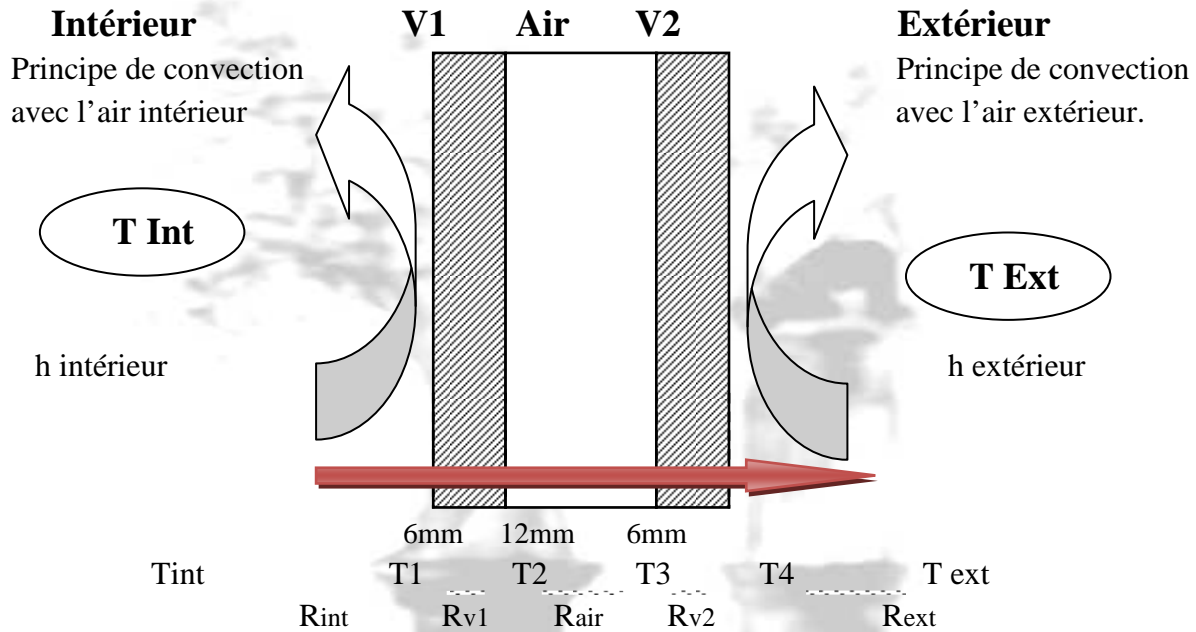


Figure III.23: Représentation de la direction de la chaleur pour un simple vitrage en hiver.

$$\begin{aligned} \Phi &= \frac{T_{int}-T_1}{R_{int}} \rightarrow T_1=T_{int} - (\Phi \cdot R_{int}) \\ T_1 &= 20-(6349.20 \times 0.00062) \rightarrow T_1=16.06^\circ\text{C} \\ \Phi &= \frac{T_1-T_2}{R_v} \rightarrow T_2=T_1 - (\Phi \cdot R_v) \\ T_2 &= 16.06-(6349.20 \times 0.0000282) \rightarrow T_2=15.88^\circ\text{C} \\ \Phi &= \frac{T_2-T_3}{R_{air}} \rightarrow T_3=T_2 - (\Phi \cdot R_{air}) \\ T_3 &= 15.88-(6349.20 \times 0.00217) \rightarrow T_3=2.10^\circ\text{C} \\ \Phi &= \frac{T_3-T_4}{R_v} \rightarrow T_4=T_3 - (\Phi \cdot R_v) \\ T_4 &= 2.10-(6349.20 \times 0.0000282) \rightarrow T_4=1.92^\circ\text{C} \\ \Phi &= \frac{T_4-T_{ext}}{R_{ext}} \rightarrow T_{ext}=T_4 - (\Phi \cdot R_{ext}) \\ T_{ext} &= 1.92-(6349.20 \times 0.000313) \rightarrow T_{ext}=0^\circ\text{C} \end{aligned}$$

-Profil de température d'hiver :

Intérieur 20°C	V1	Air	V2	Extérieur 0°C
Principe de convection avec l'air intérieur				Principe de convection avec l'air extérieur.
16.06				

h intérieur

1.92°C

h extérieur

6mm 12mm 6mm

Figure III.24: Profil de température en hiver.

7. Pourcentage de réduction :

$$P = \frac{\varnothing_{simple} - \varnothing_{double}}{\varnothing_{simple}} \times 100$$

-En été :

$$P = \frac{14340.50 - 5650.02}{14340.50} \times 100 \rightarrow P = 60.60\%$$

-En hiver :

$$P = \frac{23900.81 - 9416.68}{23900.81} \times 100 \rightarrow P = 60.60\%$$

8. Comportement en saison froide – Confort thermique :

L'isolation globale d'une façade double-peau tient avant tout à la qualité d'isolation de la façade intérieure. De ce fait, il y a avantage à équiper cette dernière de vitrages performants montés sur des cadres et un éventuel contre-cœur à haute isolation. C'est à cette seule condition que la façade double-peau aura des performances supérieures à celles d'une façade simple équivalente (c'est-à-dire dont les vitrages comportent le même nombre total de surfaces vitrées équipées des mêmes couches sélectives). En l'absence de contre-cœurs, les gains solaires sont très importants. Additionnés aux gains internes (occupants, machines et éclairage), ils suffisent à compenser les pertes (par conduction à travers la façade ainsi que par la ventilation) en hiver par ciel couvert (avec éclairage artificiel) ou par ciel dégagé (pas d'éclairage artificiel). Par temps plus clément, des protections solaires deviennent indispensables.

9. Protection solaire estivale – Confort d'été :

Comparée à une façade simple, la façade double-peau est davantage exposée aux surchauffes et doit par conséquent être équipée de protections solaires efficaces disposées entre les peaux

et correctement ventilées (par l'air qui circule dans le canal de la double peau). Il n'y a aucun avantage à utiliser l'écran comme protection solaire fixe : qu'il soit réfléchissant ou absorbant, il n'atténue qu'imparfaitement les gains solaires indésirables et limite par contre l'autonomie en éclairage naturel. Un store (en toile ou à lamelles) réduit l'apport de chaleur d'un facteur 3 à 5 selon les conditions extérieures de température et de rayonnement : Il est plus efficace lorsque la température extérieure est inférieure à la température du local et pour de faibles valeurs de rayonnement.

Remarque :

Après avoir fait un petit calcul sur un mur rideau en vitrage simple et un autre avec double vitrage, nous avons constaté que le double vitrage utilisé améliore considérablement l'isolation thermique des parties vitrées de l'enveloppe ainsi qu'une nette réduction de 60% du taux de chaleur et d'énergie perdu en saison estivale et même en hiver, ce résultat reflète l'estimation du gain d'énergie produit par le double vitrage. Ce qui explique aussi l'intérêt d'utiliser une enveloppe avec des caractéristiques techniques élevées. Sa implique aussi la réduction de l'utilisation des équipements de chauffage et de climatisations. Vu que le mur rideau utilisé conserve bien la chaleur.

Conclusion :

L'utilisation de ce type d'enveloppe et malgré les nombreux avantages qu'elle offre tel que l'esthétique et une belle vue d'extérieur, implique des conditions de réalisation très techniques et adapté au climat comme le respect des prescriptions de mise en place, la maintenance des vitrage....Et afin de rendre ce mur rideau plus performant et penchant plus vers l'intelligence, de nombreuses solutions sont possibles, comme par exemple, la mise en place de store comme protection mobile de ses parois vitrées.

Plusieurs types de stores sont disponibles sur la marché, nous citons comme exemple :

-Les stores en toile : ces stores sont utilisés en intérieur ou en extérieur. Les matériaux employés varient selon l'imperméabilité, la durabilité et les qualités optiques souhaitées. Les toiles de protection solaire et lumineuse sont généralement fabriquées à base de fibre de verre ou de polyester et enduites de PVC. Les colories des deux faces, une enduction aluminium permettent d'obtenir les qualités visuelles et énergétiques requises

-Les stores à lames horizontales : à l'extérieur et à l'intérieur, ces stores sont relevables orientables. A l'extérieur, les matières utilisées sont l'aluminium et le bois. A l'intérieur, les lames sont en aluminium, en bois ou en PVC. Les guidages sont en câbles acier. L'intérêt de ces stores réside dans la possibilité de moduler leurs qualités optiques en baissée mais la manœuvre des lames les rend plus fragiles que les stores en toile. Entre les deux vitres : un positionnement entre deux vitres protège le store des éléments, mais son efficacité est moindre qu'à l'extérieur. L'efficacité de la protection peut être cependant améliorée en ventilant l'espace entre les deux vitres.

-Les stores à lames verticales : Ces stores sont coulissants, utilisés à l'extérieur, ont des lames orientables en tissu de fibre de verre ou de polyester, parfois en bois et tissu.



Conclusion générale

Conclusion générale

On exige toujours plus des façades qui, outre leur rôle de protection passive contre la pluie, la chaleur et le froid, deviennent à présent actives en réagissant à leur environnement et en jouant en quelque sorte le rôle d'une peau où siègent des échanges entre l'intérieur et l'extérieur. Il en va ainsi des façades dites "climatiques", "double peau" ou "interactives", qui ont pour fonction d'améliorer le climat intérieur d'un bâtiment par des techniques actives et/ou passives.

Dans un premier temps, nous avons élaborés une recherche bibliographique sur le thème de la préfabrication, des notions de bases ainsi que des systèmes constructifs. Pour la deuxième partie de cette recherche nous nous sommes basés sur un seul élément entrant dans la constitution d'un système constructif qui est la façade, nous l'avons détaillé du point de vue structurelle comme fonctionnelle. Tout un chapitre a été consacré pour énumérer les types de façades qui existent sur le marché mondial et surtout un seul type appelé « intelligente ».

En troisième et dernière partie, et afin de démontrer l'efficacité du cas d'étude que nous avons pris comme exemple qui est la façade du bloc rectorat du centre universitaire de Souk Ahras, un bref rappels sur les notions de transfert de chaleur dans le bâtiment ont été brièvement cités pour permettre la compréhension de notre travail de calcul.

L'étude s'est basé sur une comparaison entre un mur rideau avec un simple vitrage et un autre avec un double vitrage, celui réalisé en réalité, du point de vue gains énergétiques et du taux(flux) de chaleur transmis d'un milieu a un autre et à quel point cette enveloppe peut garder et conserver la chaleur en hivers comme en été.

nous avons constaté que le double vitrage utilisé améliore considérablement l'isolation thermique des parties vitrés de l'enveloppe ainsi qu'une nette réduction de 60% du taux de chaleur et d'énergie perdu en saison estivale et même en hivers, ce résultat reflète l'estimation du gains d'énergie produit par le double vitrage. Ce qui explique aussi l'intérêt d'utiliser une enveloppe avec des caractéristiques techniques élevées. Sa implique aussi la réduction de l'utilisation des équipements de chauffage et de climatisations. Vu que le mur rideau utilisé conserve bien la chaleur.

Les fonctions du verre ne se limitent plus à la transparence et à la décoration, mais doivent aussi répondre à des exigences techniques de sécurité, comme la résistance au vent et aux agressions, et de protection contre la chaleur, le froid, le bruit, le feu, ...

Les derniers développements techniques dans le domaine des vitrages, de la motorisation et de l'automatisation rendent possible l'application de façades "intelligente". La caractéristique commune à toutes ces façades, quel que soit leur nom, est qu'il s'agit de façades doubles dont la cavité située entre les deux vitrages est ventilée de manière mécanique, naturelle ou hybride. Les automatismes, les propriétés de transparence variable sont des exigences qui s'ajoutent à la maîtrise de la qualité de l'air, de la température et du bruit, et on peut s'attendre à voir demain les performances de ces parois dans le domaine de la transparence, de la perméabilité à l'air et de l'isolation thermique varier automatiquement ou de façon commandée.





Bibliographie

U. South-Ahras

BIBLIOGRAPHIE

- [1] A. De Herde. (1996).Comité d'action pour le solaire et Architecture et Climat.
- [2] A.GOTMAN., J.M LEGER. (2009). Architecture & Industrie, Nationale du Bâtiment. page 107.
- [3] Alain Liébard ., André De Herde. (2006). Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique. Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable. Ed Le moniteur.776p. 11.04.2006.
- [4] Alan Ogg. (1987). Architecture in Steel. Building, Iron and steel - Royal Australian Institute of Architects,31/12/1987. Australia.255p
- [5] Aleyda Resendiz-Vazquez. 2010. L'industrialisation du bâtiment : le cas de la préfabrication dans la construction scolaire en France (1951-1973). Thèse de doctorat en Histoire des techniques. Ecole doctorale Arts et Métiers. Paris.13/07/2010. 334p.
- [6] André P.Faist. (2009). Evolution dans la construction de façades. La façade double peau.FT035. 20/01/2009.
- [7] Benoit Parmentier. (2004). Les doubles façades ventilées, Aspects relatifs à la stabilité et à la sécurité. Septembre 2004.
- [8] C. Inard. (2007). Maîtrise de la Qualité des Ambiances Habitables. www.univ-larochelle.fr.
- [9] C.R. (2008). La préfabrication, un marché en plein développement Magazine BTP Matériaux. 31/10/08 .www.francebtp.com.
- [10] CAHIERS DU CSTB. (1985). Dalles pleines confectionnées à partir de prédalles préfabriquées et du béton coulé en œuvre. CPT "PLANCHERS" TITRE II, livraison 257, cahier 1985, Mars 1985.
- [11] Carlos Ernesto Ochoa., Isaac Guedi Capeluto.(2008). Intelligent facades in hot climates: energy and comfort strategies for successful application. – 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22nd to 24th October 2008.
- [12] Cătălin Grigoraș .,Theodor Mateescu.,Cătălin Popovici.,Nelu-Cristian Cherecheș.(2011). Analyse du comportement thermodynamique d'une façade double peau - étude numérique et expérimentale en convection naturelle. février 2011.p9.
- [13] Cécile Felzines. (2005), le logement de demain, pour une meilleure qualité de vie. Conseil économique et social. Rapport N° 26.

- [14] CERIB. Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie du Béton. (2005). Guide de mise en œuvre pour les éléments linéaires de structure préfabriqués en béton. Juin 2005.
- [15] Certu ,2008, Centre d'Études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques, Construction à ossature bois – le restaurant administratif du CETE de Lyon. septembre 2008.
- [16] CERTU. (2002). Mémento technique du bâtiment, pour le chargé d'opération de constructions publiques. Confort thermique, 22p. Juillet 2002.
- [17] CERTU. (2008). Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques. Septembre 2008. www.certu.fr
- [18] Cete. (2003).Nord Picardi, Mémento technique du bâtiment, Pour le chargé de construction public, Les façades, Juillet 2003.
- [19] Christophe Morange., Christophe Morange. (2007). Forum recherche & développement pour l'innovation bouygues construction. 26, 27, 28 juin 2007 www.bouygues-construction.com.
- [20] Conseil canadien des normes. (2008). Place aux bâtiments verts et intelligents. volume 35 de la revue CONSENSUS. 14 Octobre 2008.
- [21] Croix Jean-Charles., Bassil Charles. (2008). Gestion et performances des façades active de type double peau. Ecole des mines douai. 2008-2009.
- [22] CSTB .Centre scientifique et Technique du Bâtiment. (1998). Le bâtiment demain et après-demain.
- [23] CSTB. (2009) Actualité sur les avancées techniques des vitrages pour les façades du type double peau. Centre scientifique et technique du bâtiment, le futur en construction.www.cstb.fr
- [24] D.Didier., M.LeBrazidec., P.Nataf,J., Thiesset.(2012) Bâtiment : Conception, mise en œuvre, Normalisation. Edition AFNOR, 07/05/2012. 375P.
- [25] D.W. Finn. (1992). L'industrialisation de la construction, Paru dans « Construction Canada », mai 1992, p. 25-26, 28.
- [26] Daniel Bernstein., Jean-Pierre Champetier., Loïc Hamayon., Ljubica Mudri., Jean Pierre Ttraisnel., Thierry Vidal. (2007). Traité de construction durable. Ed :Le moniteur, Paris. 814 p.
- [27] Daniel Faure. (2007). Pour une architecture écologique et un urbanisme durable Deuxième partie : architecture écologique ou climatique ? Cours 7 : Etape 1 : Insertion dans le territoire : 29 mars 2007.

- [28] Dany Blackburn. (2006) Le développement d'un système constructif de plancher préfabriqué pour l'habitat urbain de Hanoi. Mémoire pour l'obtention du grade de Maître ès Sciences (M. Sc.). Université de Laval. Québec.
- [29] Dexia. (2009). Rapport sur les réactions et points de vue de l'occupant travaillant dans un bâtiment muni de doubles façades ventilées. www.atic.be.
- [30] Dictionnaire universel ROBERT. www.larousse.fr.
- [31] DTU. Document Technique Unifié. N° :20.1
- [32] Edward Mazria.(1979).Le livre de l'énergie solaire passive: Un guide complet de la maison solaire passive, à effet de serre, et la conception des bâtiments. Edition Rodale Press. 435 p.
- [33] Elisabeth Gratia. (2006). Thermique des immeubles de bureaux, -presses de l'université catholique de Louvain. 313pages.
- [34] Elliot Polania. (2006). Contribution à l'étude du comportement des planchers composites poutres - dalles alvéolées préfabriquées en béton. Avril 2006,196 p.
- [35] Encyclopédie pratique de la construction - T2 - page 1391
- [36] Euphrosyne Triantis. (1991). La façade comme élément de transition, la physiologie des immeubles d'habitation collective, thèse de docteur es sciences, n° 986. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne.
- [37] F Jousselein. (2007). Chaleur par convection, chaleur sensible et latente dans un système solaire intégré, Proceeding du Congrès français de mécanique, Grenoble, August 2007, 6p.
- [38] Fathy Abou-Samra. (1984). Possibilités de la préfabrication en Egypte. Démarche de la construction industrialisée à l'auto-construction, École polytechnique fédérale de Lausanne EPFL Thèse No 532 Grade de docteur ES Sciences Techniques.
- [39] Faure X. (2007).Optimisation d'enveloppe hybride pour bâtiment à haute performance énergétique», Mémoire de thèse, Université Joseph Fourier, nov.2007, 233 pages: www.tel.archives-ouvertes.fr.
- [40] Faure X., Jousselein F., Pierson P., Quenard D. (2006). RC network approach for hybrid envelopes in Positive Energy Buildings, EPIC 2006 HIVEC proceedings, Lyon, nov.2006, vol.3, p.473-478.
- [41] Fauvel Bruno. (2007). Méthodes en phase de préparation sur le chantier du CHR de Metz. INSA Strasbourg, Spécialité Génie Civil, Option Conception des Ouvrages. Juin 2007.

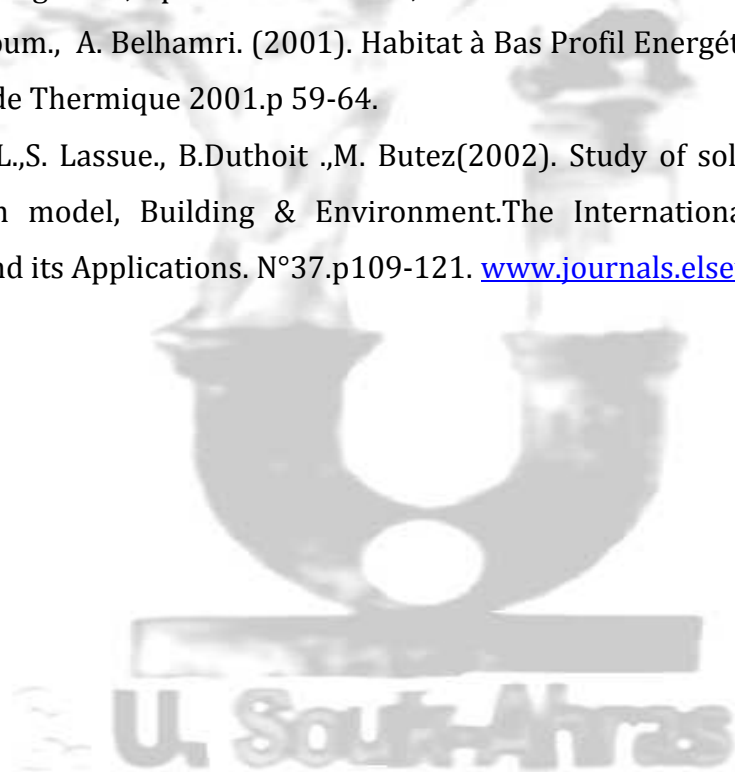
- [42] Fraisse G. et al. (2006). The use of a heavy internal wall with a ventilated air gap to store solar energy and improve summer comfort in timber frame houses, *Energy & Buildings*, p 293-302.
- [43] François Cattapan. (2007). La préfabrication permet de s'attarder au rendement éco-énergétique, 4 avril 2007. www.journalhabitation.com
- [44] Frank Kaltenbach. (2009). Architecture industrielle -Culture industrielle.Revue Architecture Détail.Mai 2009. P 912.
- [45] Franz Graf. (1998). Doubles parois, verres, transparences. *Journal d'architectures. FACES n°45. hiver 1998-99.* www.crit.archi.fr.
- [46] Frédérique Vergne.(2009). Une façade intelligente grâce à des brise-soleil automatisés. Solution technique. Article moniteur.22/12/2009.www.lemoniteur.fr.
- [47] G. Chanvillard., Lafarge LCR., G. Giraudon., GFC, Bouygues., O. Roque. (2000). Panneaux préfabriqués de façades en béton de sable renforcé de fibre de fonte amorphe (precast wall elements in stainless amorphous metallic fibre concrete), 5th International RILEM Symposium, Lyon, 13/15 September 2000.
- [48] Gazeau Philippe. (1998). Double vitrage cintré pour une façade VEC. article - Les Cahiers Techniques du Bâtiment no 187, mars 1998, pp. 24-25.
- [49] Gérard Fleury : José Fontan. (1983). Maison en bois: technologies et spécificités de construction .article de revus travaux N° 575.mars 1983. p 29-32.
- [50] Gérard Karsenty. (1997). La fabrication du bâtiment, Le second œuvre. Edition Eyrolles, 579P.
- [51] Graf F. (1998). Doubles parois, verres, transparences. *Journal d'architectures*, 1998-99.www.crit.archi.fr
- [52] H.Duthu et M. Villaneau. (1965). Ingénieurs en chef à l'O.T.H, in *Techniques et Architecture*, Mai-juin 1965.
- [53] Hafiane Abderrahim. (2007). Les projets d'urbanisme récents en Algérie. 43rd ISOCARP Congress 2007.
- [54] Hartmut Hering. (2007). Conseiller construction bois à Arbocentre, La préfabrication dans la construction bois, avril 2007. www.arbocentre.asso.fr
- [55] Herzog T., Krippner R., Lang W. (2007). Construire des façades. *Détail* : Presses polytechniques et Universitaires de France. 239 p.
- [56] Ir. Arnold Van Acker. (2011). Conception des planchers en dalles alvéolées. Belgique 2011.

- [57] J.K. Latta. (1969). Murs préfabriqués en béton nouveaux principes de base pour leur tracé, Digest de la construction au Canada .octobre 1969.
- [58] Jean marc Stebe. (2001). Architecture, urbanistique et société: Idéologies et représentations dans le monde urbain -Hommage à Henri Raymond. Ed : L'Harmattan.311p.
- [59] Jean-Pierre Loustau. (2006). La façade légère. Etude prospective sur les évolutions du marché Et des technologies en France Perspectives en Europe. TBC Générateur d'innovation Colomiers, 1er septembre 2006.
- [60] Karim Miled, 2012.La préfabrication en Tunisie: un secteur à promouvoir. journée sur le thème : "La préfabrication en Tunisie un secteur à promouvoir", ENIT, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis le 15 février 2012.
- [61] Kinda Hannawi. (2005). La conception des façades des bâtiments dans une approche de haute qualité environnementale. mémoire de master. Université de Marne la vallée. Paris.57p.2005-2006
- [62] Kondo T. et al. (2000). Research on thermal storage of PCM wallboard, Workshop for International Energy Agency, Annex 10, Japan, 2000.
- [63] Latouche Serge, Sid Boubekour. (1987). L'habitat en Algérie, stratégies d'acteurs et logiques industrielles, Tiers-Monde, Volume 28, Numéro 110 p. 472 - 473, www.persee.fr
- [64] Lê Minh NGÔ. (2005). Les murs de façade des maisons du quartier bui thi xuan à hanoi: relations entre les organisations constructives, formelles et spatiales et les modes d'appropriation de la façade, mémoire de maitrise sciences en science de l'architecture. Université de Laval. QUÉBEC, 2005.
- [65] Le moniteur. (1978) Façades légères. Rédaction, Centre d'assistance technique et de documentation. Edition du Moniteur. Paris, 1978.
- [66] Lee E, et al, (2002). High-performance commercial building facades.
- [67] Lefevre P. (2002). Architectures Durables .Edition Edisud. Octobre 2002.
Les doubles façades ventilées « classification et illustration des concepts de façades » par le Centre Scientifique & Technique de la Construction. www.bbri.be/activefacades.
- [68] Levy Benjamin - Carado Cyril. (2003/2004) Prefabrication. TH3 - groupe X.
- [69] Luc Verreault. (2004). Bâtir en santé, Bulletin d'information technique, Volume 2, Numero 3, Mars 2004.
- [70] Luc Verreault., Céline East. (2004). Le bâtiment intelligent- volume 2, numéro 3. Batir en santé, bulletin d'information technique. Mars 2004.

- [71] M. Le Paige ., E. Gratia ., A. De Herde (1986). Guide d'aide à la conception bioclimatique. Services de Programmation de la Politique Scientifique.
- [72] M. Le Paige., E. Gratia ., A. De Herde (1986). Guide d'aide à la conception bioclimatique. Architecture et Climat. Programme National, RD Energie, Services de Programmation de la Politique Scientifique, 1986 - 132 pages.
- [73] M.Z. Rousseau et R.L. Quirouette. (1982).Les murs en panneaux préfabriqués.
- [74] Marie Moignot. (1998). De la façade à l'enveloppe : typologies & pathologies. Mémoire I.S.A. Saint-Luc Bxl.
- [75] Michel Macary. (2007). Les enjeux de la prise en compte de la maîtrise énergétique dans la recherche, la formation et la pratique en architecture. Séminaire de travail « Recherche architecturale et maîtrise énergétique » - Les Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau – Jeudi 1er Février 2007.
- [76] Monika WOLOSZYN, RFI - Vers un Régulateur de Façade Intelligente : double peau équipée de protections solaires modulables, thèse de doctorat.
- [77] Nassim SAFER. (2006). Modélisation des façades de type double-peau équipées de protections solaires : Approche multi-échelles. Thèse en génie civil .13 juin 2006.
- [78] Nassim Safer. (2009). Approches multi-échelles en vue de la gestion optimale des façades de type double-peau équipées de protections. www.gc.iutnimes. Fr.
- [79] OPPBTP. (1997). Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux publics. fiche de sécurité E4 F 02 78.
- [80] Philippe Amadio. (2007). Etude et Définition d'une enveloppe complexe de bâtiment, Projet de fin d'étude, Document de synthèse. Juin 2007.
- [81] Philippe Roux. (2006).cours de thermique.
- [82] Philippe Gibert. (2010). Expérimentation. La Filière Etude du Bâtiment, Lycée Yser : développement.
- [83] Pierre Chemillier. (2002). L'épopée de l'industrialisation du bâtiment après la guerre 1939-1945. Conférence du 14 juin 2002.
- [84] Pierre CHEMILLIER. L'épopée de l'industrialisation du bâtiment après la guerre 1939-1945 Comité d'histoire Ministère de l'Equipement, des Transports, de l'Aménagement du territoire, du Tourisme et de la Mer Conférence du 14 juin 2002.
- [85] Portefait., J.-P. (1976). 60 ans d'industrialisation: l'évolution des idées, Techniques & Architecture, n° 321, novembre 1976, pp.73-79.
- [86] Prouvé, J. (1973). "Project", Techniques & Architecture n° 292, p. 47.

- [87] Quirouette, R.L. (1982). A study of the construction process, Division of Building Research, National Research Council Canada, Building Practice Note No. 32.
- [88] R. Schall. (1966). Les Murs Rideaux. Éditions Dunod.248 p.
- [89] R.Adrail, J.P.Battail, D.Sommier. (2008). Guide du constructeur en bâtiment, Edition Hachette Technique, 240P.
- [90] R.L. Quirouette. (1982). Murs extérieurs: causes des désordres. Forum 82 sur la science du bâtiment. série de colloques. villes canadiennes 1982.
- [91] S.P.I.P. (1998).FIB Planchers-Ossatures, Règles professionnelles relatives au dimensionnement des planchers à prédalles épaisses. FIB, Juillet 1998.
- [92] Sid Boubekur. (1986). L'habitat en Algérie, stratégies d'acteurs et logiques industrielles, Lyon, Presses Universitaires de Lyon, 256 P.
- [93] Simonot Béatrice, La Maison du Peuple, un bijou mécanique, Blou, Editions Monografik, 2010.
- [94] SPPS. Service de Programmation de la Politique Scientifique.(1986). Guide d'aide à la conception bioclimatique - Architecture et Climat / RD Energie.
- [95] Terry Meyer Boake. (2009). The Tectonics of the Double Skin .School of Architecture, University of waterloo. www.gc.iutnimes.fr
- [96] Thierry Salomon. (2000). Architecture solaire et conception climatique des bâtiments. 25.05.2000.
- [97] Thomas Schenk. (2007). Le béton arme en France, 1889 - 1914 expressions architecturales d'un nouveau système technologique de construction. Grade de maître es arts (M.A.).
- [98] Vénard, J.L. Industrialisation comme transformation permanente de l'acte de bâtir, Industrie et architecture. Paris 1984.
- [99] Vénard, J.L., Hamburger, B., 1979, Série industrielle et diversité architecturale, La documentation française ; cité par G. Panneaux, Industrialisation du bâtiment et transformation de l'appareil de production : le cas de la production de maisons individuelles , Thèse de doctorat 3ème cycle, UER, unité de formation et de recherche.France.1981
- [100] Veronique BUAT. (2012) . Transferts thermiques. Chapitre 8. Transfert thermique par conduction Régimes permanents. Cours N°05 introduction aux échanges thermiques, conduction et rayonnement. l'Université de Provence.
- [101] Vilém Flusser. (1973). Pour une philosophie de la photographie. p83.

- [102] Wilson, A.G. (2007). Air Leakage in Buildings, Division of Building Research, National Research Council of Canada, Canadian Building Digest No. 23, Ottawa, 1961. Within the building envelop, Heat Set 2007 proceedings, Chambéry, ap.2007, vol.2, p 711-719.
- [103] X. Loncour., A. Deneyer., M. Blasco., G. Flamant., P. Wouters. (2009).
- [104] Z. Chelghoum. (2000). Pour un Habitat à Bas Profil Energétique - Cas de Constantine, Thèse de Magistère, Option Architecture, Constantine. 2000.
- [105] Z. Chelghoum., A. Belhamri. (2001). Habitat à Bas Profil Energétique, Rev. Energ. Ren. : Journées de Thermique 2001.p 59-64.
- [106] Zalewski L.,S. Lassue., B.Duthoit .,M. Butez(2002). Study of solar walls – validating a simulation model, Building & Environment.The International Journal of Building Science and its Applications. N°37.p109-121. www.journals.elsevier.com

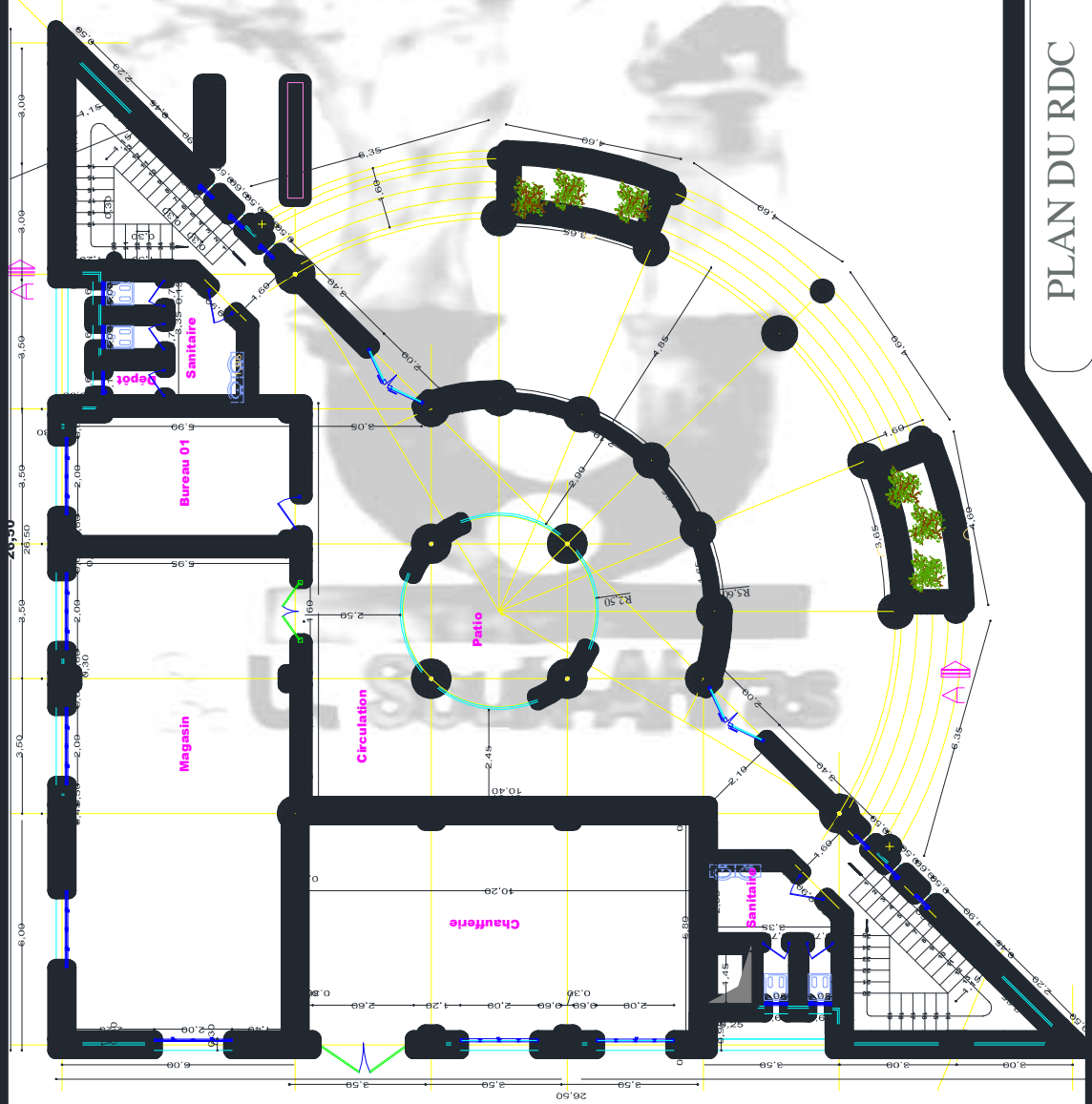


Site internet

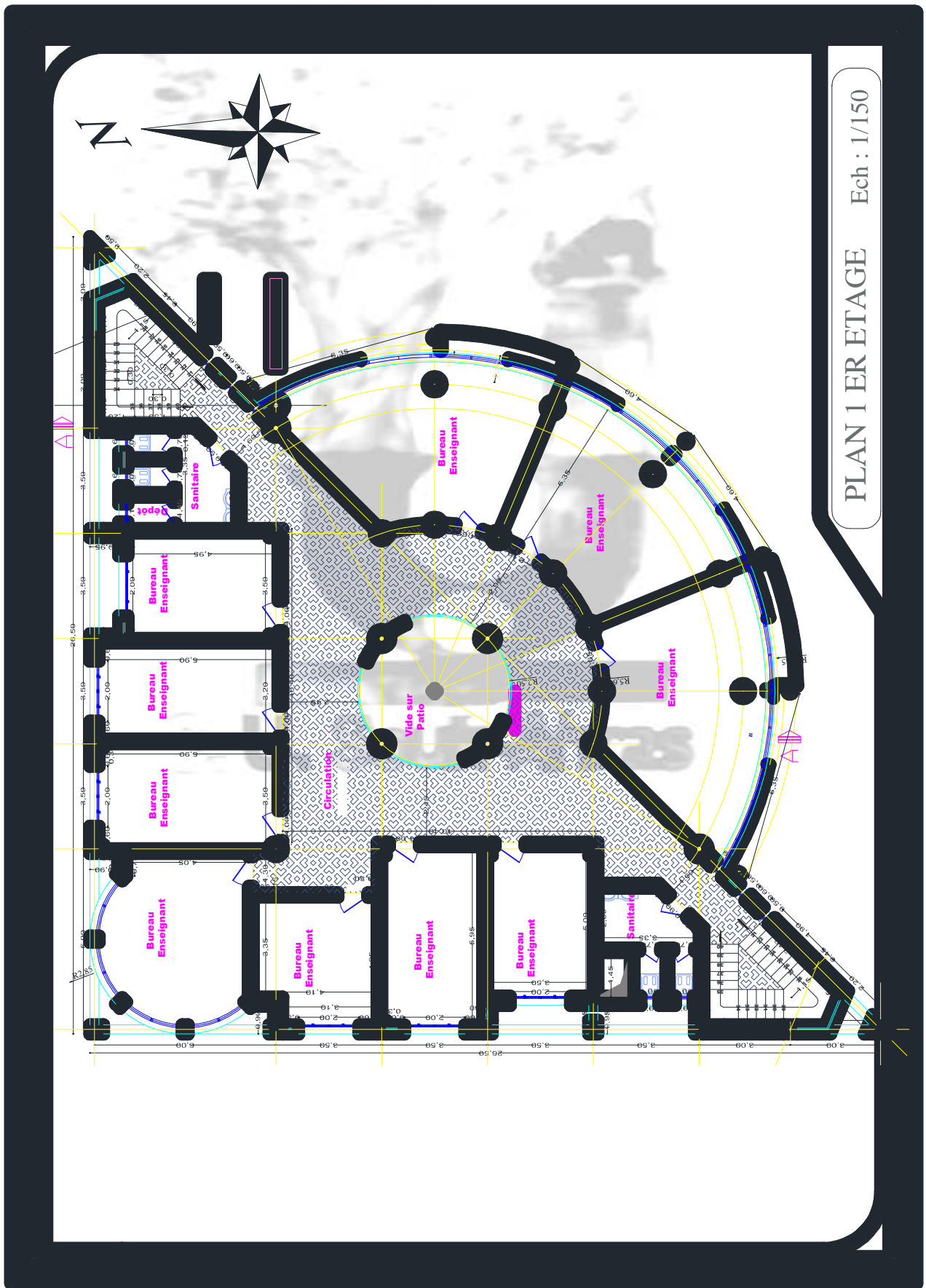
- Adjuvant du béton, La chimie au service des matériaux de construction. ww.chriso.com
- Bonneville International Housing. www.cibisa.ulaval.ca.
- Encyclopédie Larousse. www.Larousse.fr
- Façade en béton apparent, Fiche technique, Agence Nationale de l'habitat. www.anah.fr.
- Guide des énergies renouvelables. www.guide-er.org.
- La maison de A à Z. www.pointp.fr.
- Le dictionnaire générale du bâtiment. www.dicobatonline.fr
- Les panneaux de façade préfabriqués. www.cours-génie-civil.com. Technologie,
- Systèmes constructifs xella bâtiments habitations collectifs et activités. www.ytong.fr .
- www.cms2.plenso.be
- Industrie Canada (2002) La Carte routière technologique des bâtiments intelligents. www.ic.gc.ca.
- Institut Technique du bâtiment, département d'architecture, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, -La façade double-peau, 1999. www.bfe.admin.ch.
- Intelligent Energy Europe. (Page consultée le 29 novembre 2009). Description du projet Best Facade. www.bestfacade.com.
- Intelligent facades, Product solutions for window automation. www.WindowMaster.com
- L'acier moderne, Chapitre I. Le Centre de Ressources et d'Informations Techniques. www.crit.archi.fr/web.
- Nouvelle technologie pour le bâtiment utilisation des procédés industriels pour l'optimisation du coût de construction des logements sociaux. Rapport final. www.AREA.com
- www.charpente-concept.com
- www.clevihome.com/technique/schemas.html-schémas des principes constructifs. décembre 2010.
- www.cnrs.fr.
- www.cpi-worldwide.com
- www.crit.archi.fr
- www.exploitations-architecturales.com
- www.febeffloor.be.
- www.villien.com/villien_eapb/



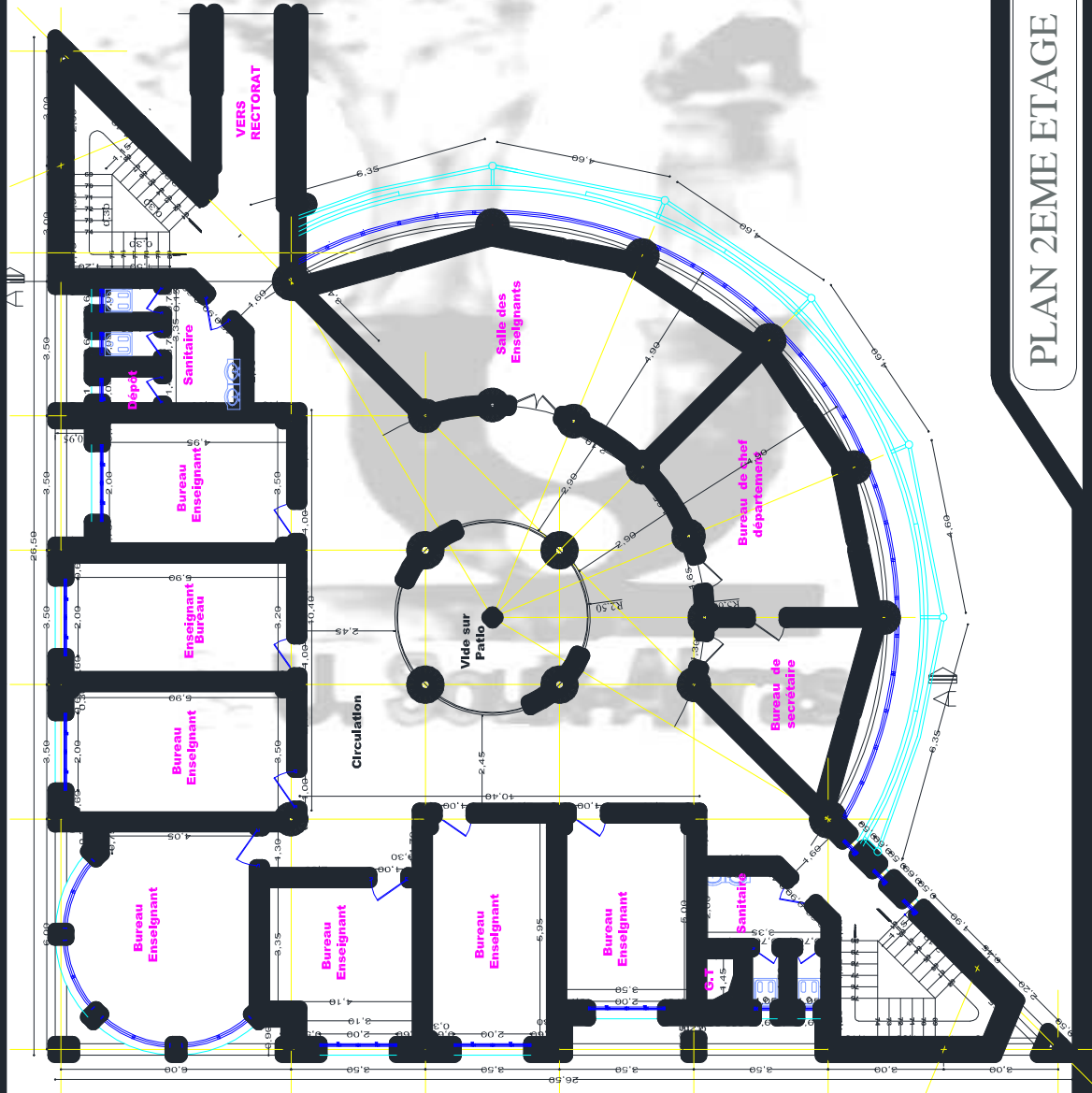
Annexe



PLAN DU RDC Ech : 1/150



PLAN 1 ER ETAGE Ech : 1/150



PLAN 2EME ETAGE Ech : 1/150

