

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE FACULTE DES SCIENCES
ET DE LA TECHNOLOGIE
UNIVERSITE DE JIJEL**

Département d'Architecture et d'U



Mémoire Pour l'Obtention Du Diplôme De :

MASTER ACADEMIQUE

Filière :

ARCHITECTURE

Spécialité :

ARCHITECTURE ET TECHNOLOGIE

Présenté par:

Mlle: Dermouchi Lwiza

Mlle: Chekraoui Khadidja



THEME :
**CONFORT THERMIQUE INTERIEUR DES
CONSTRUCTIONS PAR LES
PROCEDES PASSIFS**

Soutenu le: 04 /10 / 2015

Composition du Jury :

Mme : HALLAL. I

Enseignant à l'Université de Jijel

Présidente du Jury

Mr. LEHTIHET. M.CH

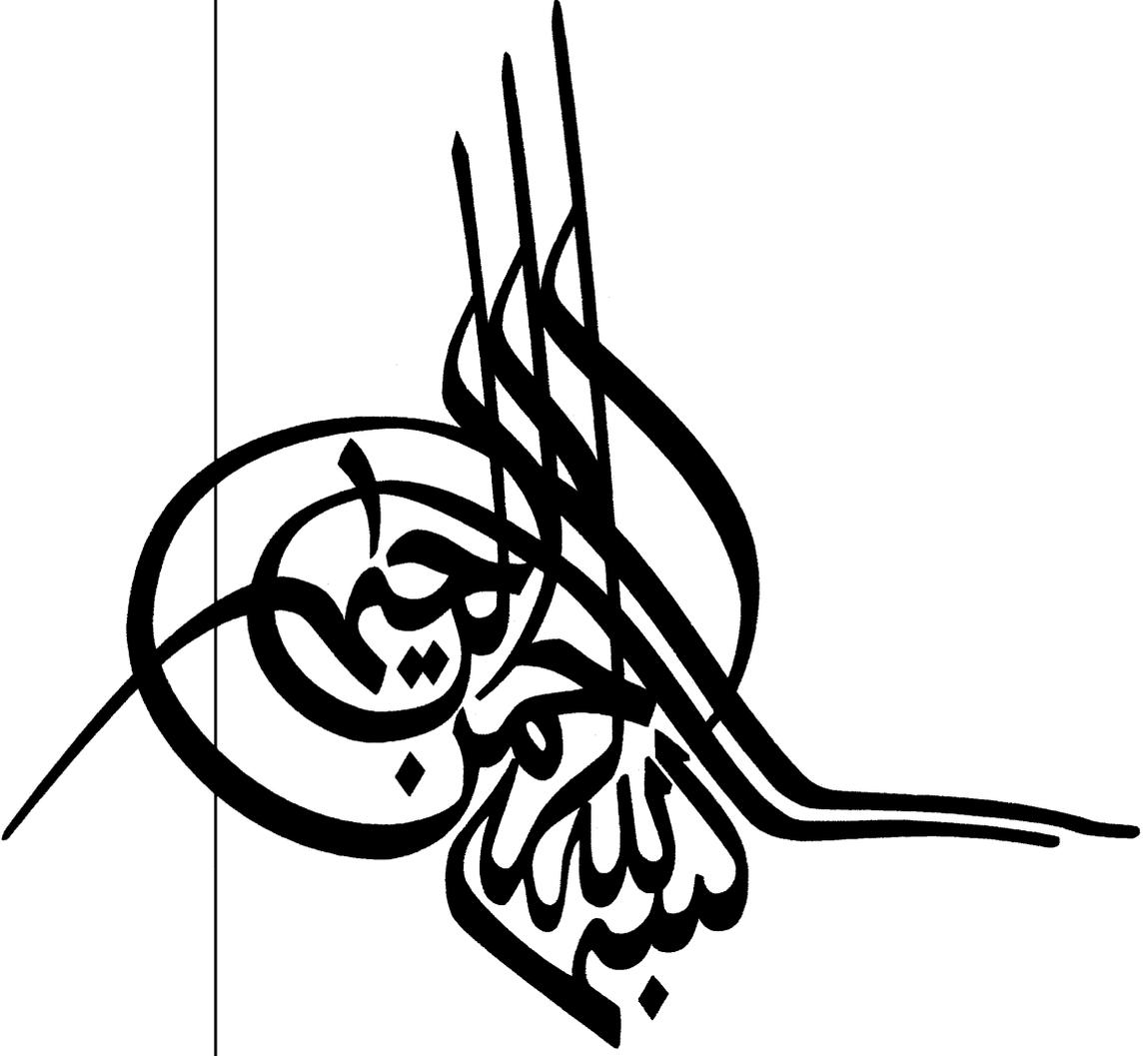
Enseignant à l'Université de Jijel

Directeur de mémoire

Pr : BOUCHAIR. A.

Professeur à l'Université de Jijel

Member du Jury



Remerciement

Nous rendons grâce à Dieu qui nous a donné la volonté, l'aide, la patience et le courage pour accomplir ce modeste de travail.

Nous voudrions remercier avant tout, notre encadreur Monsieur LEHTIHEI. Mohemmed. Chérif .qui avec ses orientations, son expériences et son suivi, mais surtout pour sa disponibilité et d'avoir été tout simplement toujours là pour nous écouter et nous redonner confiance.

Nous remercions également l'ensemble du personnel de l'A.P.C, de la direction de tourisme; l'DUC et la directions des travaux publics.

Nous remercions aussi le chef de département d'architecture monsieur ROUIDI Tarik a votre soutien .

Notre remerciements les plus vifs, à tous notre enseignants qui nous encadrée, pendant toutes mes années d'études, et éclairée notre chemin de jeune étudiante, et spécialement à monsieur BOUCHAIR Ammar, DEHIR Amire. notre Dames KIHAL Hanane et BOULAZREGIbtissam.

Et enfin, un grand merci à tous ceux et celles qui nous aidé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

A tous, un grand merci.

Khado & liza



DÉDICACE



Je dédie ce modeste travail :

*Aux Personnes chères à mon cœur Mes parents
les premières personnes qui m'ont encouragée et soutenue le long de mon
chemin. Merci pour vos sacrifices, dévouement et surtout de m'avoir fait
autant de confiance, de n'avoir jamais douté de mes capacités et de m'avoir
inculqué les valeurs justes de la vie, avec autant de sagesse.*

*A mes chers frères Nabil et Riad qui est comme un deuxième père pour moi,
Pour leur conseils, leur disponibilité et pour leur générosité et leur présence
à tout épreuve tout au long de mon parcours.*

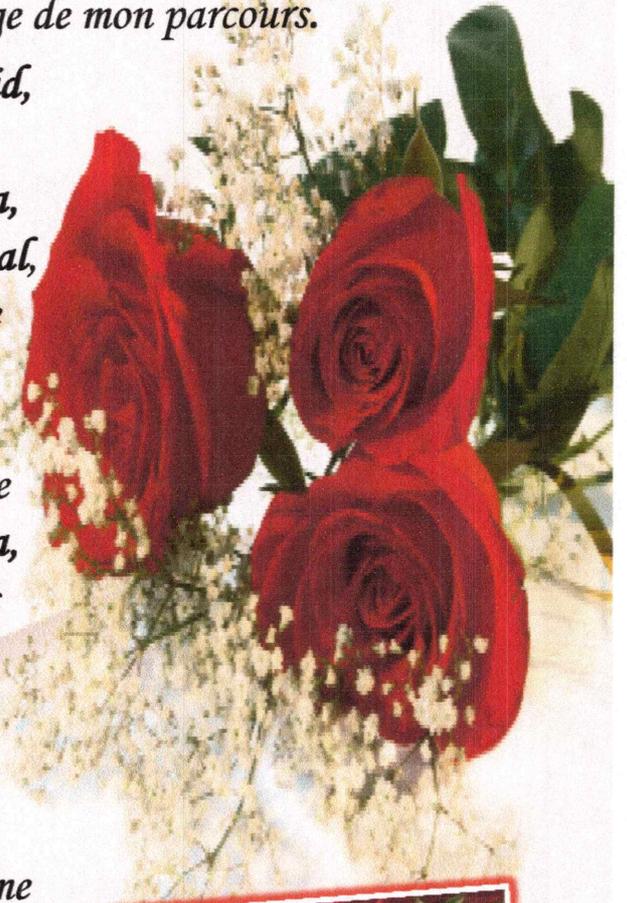
*A mes très agréable frères Saddam, Farid,
Djahid, Madjid.*

*A mes très chers sœurs Warda, Souhila,
Zahira, Soumia, Massika, Mariam, Amal,
Noura et Rachida pour votre tendresse
votre aide et votre affection.*

*A mes amies formidables : Ma complice
Khado, Hiba, Ismahane Souad, Amina,
wardely, Sabah, Saida, je n'oublierais
jamais les bons moments qu'on passé
ensemble durant les
5ans d'études.*

*A mes collègues et mes amis
D'architecture, A tous ceux que j'estime
et que j'aime*

Merci à vous tous.



LWIZA

Sommaire

Introduction générale	01
1. <i>Introduction</i>	01
2. <i>Problématique de recherche</i>	01
3. <i>Hypothèses</i>	03
4. <i>Objectifs</i>	03
5. <i>Structure de recherche</i>	03
6. <i>Méthodologie de recherche</i>	05
 PREMIER PARTIE: ETAT DE L'ART	
PREMIER CHAPITRE : LA NOTION DE CONFORT THERMIQUE	
Introduction	06
↓ 1. <i>Notion de confort thermique</i>	06
2. <i>Les aspects du confort thermique</i>	06
✓ 3. <i>Les paramètres affectant le confort thermique</i>	07
✓3.1. Les Paramètres liés à d'ambiance extérieure.....	07
✓ 3.1.1. La température de l'air ambiant	07
✓3.1.2. La vitesse de l'air	08
✓ 3.1.3. L'humidité relative de l'air	08
3.2. Les paramètre lié à l'individu	09
3.2.1. La vêtue	09
3.2.2. L'activité	09
3.3. Les paramètres liés aux gains thermiques internes	09
4. <i>Les approches du confort thermique</i>	10
4.1. Approche statique du confort thermique	10
4.1.1. L'aspect physiologique du confort thermique	10
4.1.2. L'aspect physique du confort thermique	10
4.2. Approche adaptative du confort thermique	11
5. <i>Facteurs d'inconfort thermique</i>	12
5.1. Effet des courants d'air.....	13
5.2. Effet d'asymétrie d'un rayonnement thermique	13
5.3. Effet de gradient thermique vertical de l'air	13
5.4. Effet de la température du sol	13



DÉDICACE



Je dédie ce travail

A mes très chers parents Azzedine et Hassina, les premières personnes qui m'ont encouragée et soutenue le long de mon chemin. Merci pour vos sacrifices, dévouement et surtout de m'avoir fait autant de confiance, de n'avoir jamais douté de mes capacités et de m'avoir inculqué les valeurs justes de la vie, avec autant de sagesse. Merci MAMAN, PAPA de m'avoir écoutée avec autant de patience, de m'avoir encouragée et merci pour ton soutien moral. Sans toi je ne serais jamais arrivée au bout du chemin.

*A mes très chers frères Sifo,
Yassine, Abdalhake, Abd Arrahmane, et
Somnamna bien sur.*

*A ma complice Liza. Et mes amies : Ismahane
, soumia, Lamia, Sara, Meryem,
Khadidja, Mariama, fatima, Randa, Whiba,
A ma grande père, ma grande mère, toutes mes
tantes, oncles, cousins et cousines que je ne
saurais citer.*

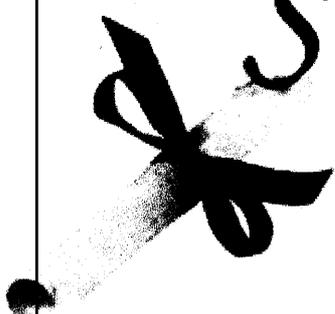
*A mes collègues et amis de la Promotion
2014-2015.*

*sans oublier tous mes amis de la cité
universitaire pour tous les merveilleux
souvenirs que nous avons partagés ensemble.*



Merci à vous tous.





Sommaire

6. Evaluation de confort thermique	14
6.1. Indices pour l'évaluation de confort thermique	14
6.1.1. Les indice PMV et PPD	14
6.1.2. La température de l'air ambiant (Ta)	16
6.1.3. La température opérative (Top)	16
6.2. L'évaluation de confort thermique par les enquêtes in situ	16
6.3. L'évaluation de confort thermique par outils graphique	17
6.3.1. Définition du diagramme bioclimatique	17
6.3.1. Diagramme de Givoni	18
7. Comment améliorer le confort thermique et diminuer sa facture énergétique	19
7.1. Comment améliorer le confort thermique de son habitation en hiver?.....	19
7.2. Comment améliorer le confort thermique de son habitation en été?.....	20
Conclusion	20
DEUXIEME CHAPITRE : ISOLATION THERMIQUE	
Introduction	22
1. Définition de l'isolation thermique	22
2. Les points clés de la réglementation	22
3. Pourquoi isoler ?	23
4. Comment isoler ?	24
4. 1. Les particularités des bâtiments anciens	24
5. Toutes les techniques du sol au plafond	25
5.1. L'isolation des combles et toitures	26
5.1.1. Les combles perdus	26
5.1.2. Les combles habitables / aménageables	27
5.1.3. Les toitures-terrasses	28
5.2. L'isolation des plancher	28
5.2.1. Les planchers sur terre-plein	29
5.2.2. Les planchers sur vide sanitaire ou locaux non chauffés	29
5.3. L'isolation des murs par l'intérieur	30
5.4. L'isolation des murs par l'extérieur	31
5.5. L'isolation des parois vitrées	33
Conclusion	36
DEUXIEME PARTIE : CAS D'ETUDE	
TROISIEME CHAPITRE : LE SYSTEME DOUBLE-PEAU	

Introduction	37
1. Définition de la façade double peau	37
2. Les composants de la façade de type double-peau	38
2.1 La peau extérieure	38
2.2 La peau intérieure	38
2.3 Un espace tampon	38
2.4 Une protection solaire.....	40
3. Les principaux types des façades double peau	41
3.1. Les façades ventilées	41
3.1.1. Les objectifs des façades ventilées.....	41
3.1.2. Classification des doubles façades ventilées.....	42
3.1.2.1. Les types de ventilation	42
3.1.2.2. Les types de compartimentage.....	43
3.1.2.3. Les différents modes de ventilation.....	44
3.2. Les façades actives.....	46
4. Illustrations des différentes techniques	46
4.1. Les façades vitrées.....	46
4.2. Les façades métalliques.....	46
4.3. Les façades végétalisées	47
4.4. Les façades à lamelles.....	48
5. Mode de fonctionnement des façades double peau	48
5.1. En hiver	48
5.2. En été	48
Conclusion	51
QUATERIEME CHAPITRE : ETUDE DES REALISATIONS	
EXEMPLE 01 : LE MUSEE DES CIVILISATIONS DE L'EUROPE	
ET DE LA MEDITERRANEE (M.U.C.E.M)	
1. Présentation du projet	52
2. La partie pris conceptuel du projet architectural du M.U.C.E.M	52
3. Description du projet	53
3.1. Situation.....	53
3.2. Les caractéristiques du site.....	54
3.3. La forme du bâtiment	54
3.4. Les Matériaux de construction.....	55

4. Description sommaire de la structure	56
4.1. Les planchers et les poutres en B.F.U.P.....	56
4.2. Les poteaux arborescents en BFUP précontraints.....	56
4.3. Fondations et sous-sols.....	56
4.4. Plancher haut du sous-sol.....	57
4.5. Résille BFUP en façade et en toiture.....	57
4.6. Les passerelles périphériques autour du cube du musée.....	58
4.7. La passerelle reliant le musée au Fort Saint Jean.....	59
5. L'adaptation de la FDP aux données du site	59
6. Mu CEM et le Développement durable	60
EXEMPLE02 : LE CENTRE CULTUREL TJIBAOU	
Introduction	61
1. Présentation du projet	62
1.1. Aperçue Historique.....	62
1.2. Fiche techniques.....	62
1.3. Objectif de ce lieu.....	62
1.4. Biographie de l'architecte	62
2. Description du projet architectural	63
2.1. Situation.....	63
2.2. Les caractéristiques du site.....	63
2.3. Études préliminaires de projet	64
3. L'architecture du centre	64
4. Les Matériaux de construction.....	65
5. Description sommaire de la structure	66
6. Traitement de la lumière	67
7. L'adaptation de la FDP aux données du site	67
8. La prise en compte de l'environnement	68
9. Synthèse critiques des exemples	69
10. Tableau comparatif	71
10.1. Analyse & Interprétation des résultats.....	73
Conclusion	74
Recommandations	75
Conclusion générale	78
Bibliographie	
Les annexes	

Liste des tableaux

Liste des figures

Abréviations et symboles

Résumé

Cette dernière décennie, nous assistons en Algérie à une réalisation multiple et intense des projets de constructions, qui ne sont malheureusement soumis à aucune exigence réglementaire sur le plan thermique et énergétique. Les paramètres de la conception sont d'ordre fonctionnel et architectural et la dimension énergétique du projet n'est toujours pas considérée comme significative, ce qui conduit à des bâtiments non confortables et énergivores

Notre recherche est organisée autour de la thématique d'amélioration du confort thermique par les procédés passifs dans le but de dresser un premier état des lieux de leurs développements.

La lutte contre le gaspillage d'énergie passe par l'isolation thermique des bâtiments, et l'isolation efficace trop souvent négligée, alors que cette isolation permet de limiter drastiquement les pertes. C'est dans ce contexte que les constructions passives prennent toute leur importance.

Touts fois dans le cadre de constructions neuves ou la réhabilitation de bâtiments les façades multiples double peau de plus en plus utilisée par des déférents matériaux, les choix de ces matériaux basé en principe sur plusieurs facteurs comme : le climat, pris en compte de l'environnementetc.

Aujourd'hui les techniques d'amélioration de ce confort sont diverses, et l'adaptation dans notre région passe par des analyses des études détaillés pour obtenir les meilleurs résultats.

Donc notre travail est orienté vert un axe qui chercher à élaborer des recommandations et orientations pour la réalisation des constructions assurant un confort thermique optimisé par une technique adéquate pour la ville de Jijel.

MOTS CLES : confort thermique, procédé passif, isolation thermique, double peau, économie d'énergie.

الملخص :

في العقد الماضي، شهدنا في الجزائر تضاعف مشاريع البناء وتعددها وهي للأسف لا تخضع لأية متطلبات تنظيمية في ما يخص المخطط الحراري الطاقوي. إن إعدادات التصميم تكون بترتيب وظيفي وهندسي. وبما أن البعد الطاقوي للمشروع لا يأخذ بعين الاعتبار، فإن هذا الأمر يؤدي إلى منشآت غير مريحة وكثيفة الاستهلاك للطاقة.

لهذا يتمحور بحثنا حول موضوع تحسين الراحة الحرارية من خلال استعمال الطاقة المتجددة، من أجل إقامة حالة من التطور الأولي.

إن محاربة هدر الطاقة يمر من خلال العزل الحراري للمباني، والعزل الفعال في كثير من الأحيان يتعرض للإهمال، في حين أن العزل يمكن أن يحد من الخسائر بشكل كبير. وفي هذا السياق تأخذ المباني المعتمدة على الطاقة المتجددة كل أولويتها.

في جميع الأحوال سواء من خلال بناء مباني جديدة أو إعادة تأهيلها، فإن تقنية ازدواج غلاف الواجهة تستخدم بشكل متزايد بمواد مختلفة، واختيار هذه المواد يرتكز أساسا على عدة عوامل مثل: المناخ، والأخذ بعين الاعتبار المحيط... الخ. اليوم تقنيات تحسين هذه الراحة متنوعة، وتكيف هذه الأخيرة في منطقتنا يمر عبر تحاليل ودراسات مفصلة لتحقيق نتائج أفضل.

لذلك توجه عملنا باتجاه محور يسعى إلى استخلاص نصائح وتوجيهات لتشييد المباني ذات راحة حرارية جيدة، مع تقنية ملائمة لمدينة جيجل.

كلمات البحث: الراحة الحرارية، طرق استعمال الطاقة المتجددة، العزل الحراري، الواجهة مزدوجة الغلاف، توفير الطاقة.

Abstract

In the last decade, we are seeing in Algeria to a multiple realization and intense construction projects , which are unfortunately not subject to any regulatory requirements on thermal and energy.

The design parameters are functional and architectural order and the energy dimension of the project is still considered significant, which leads to non- energy-intensive and comfortable building.

Our research is organized around the theme of thermal comfort improvement by the passive conduct in order to erect a first inventory of their developments.

The fight against energy waste through thermal insulation of buildings, and the efficient insulation too often overlooked, while this insulation can drastically limit the losses. It is in this context that passive constructions become important.

All times through new construction or rehabilitation of buildings multiple double-skin facades increasingly used by deferent materials, the choice of these materials in principle based on several factors such as: climate, considered the environment ... etc .

Today the techniques for improving this comfort are diverse, and adaptation in our region passes through analyzes detailed studies to hold better results.

So our work is oriented green axis which seeks to draw up a guide for the construction of buildings thermal comfort has adequate technical performance in the city of Jijel.

KEYWORDS

Thermal comfort, passive process, thermal insulation, the double skin, energy saving.

Chapitre 1



La Notion

De Confort Thermique

Introduction

Le confort peut être défini comme le degré de désagrément ou de bien être produit par les caractéristiques de l'environnement d'un bâtiment. une telle définition considère une interaction entre l'individu et l'espace qui l'entour. C'est-à-dire ; entre des conditions ambiantes physiquement mesurables et certaines conditions individuelle qui affectent notre perception¹. la qualité de vie à l'intérieur de l'espace a été souvent rapprochée a une appréciation thermique en premier lieu.

Assurer une sensation de chaleur en hiver et se préserver de fortes chaleurs en été et depuis longtemps un souci majeur pour les concepteurs. D'ailleurs, un des objectifs de l'architecture réside dans la satisfaction des occupant par le bien être thermique.

1. Notion de confort thermique

La notion de confort thermique désigne l'ensemble des multiples interactions entre l'occupant et son environnement ou l'individu est considéré comme un élément du système thermique²

Qu'est-ce que ça veut dire le confort thermique ?

«Le confort thermique peut être défini comme une sensation complexe produite par un système de facteurs **physiques**, **physiologiques** et **psychologiques**, conduisant l'individu à exprimer le bien être de son état».

«Le maintien de l'équilibre thermique entre le **corps humain** et son **environnement** est l'une des principales exigences pour la santé, le bien-être et le confort» (B. Givoni).³



2. Les aspects du confort thermique

- ✓ **Aspect physique** : L'homme est représenté comme une machine thermique et on considère ses interactions avec l'environnement en termes d'échange de chaleur.

¹ Estéban Emilio Monténégo Iturra. « *Impact de la configuration des bâtiments scolaire sur leur performance thermique* » thèse de doctorat faculté des études supérieures de l'université Laval canada, 2011, p164.

² Cantin, R et al. « *Complexité du confort thermique dans les bâtiments* » in actes de 6ème congrès européen de science des systèmes, tenu à Paris, 22 septembre 2005.

³ Nohagamal « *La notion de confort thermique: entre modernisme et contemporain* » Ecole Nationale Supérieur d'Architecture de Grenoble. 03/12/2010, p2.

- ✓ **Aspect psychologique** : Il concerne les sensations de confort éprouvées par l'homme et la qualification des ambiances intérieures.
- ✓ **Aspect physiologique** : Il concerne les conditions pour lesquelles les mécanismes d'autorégulation du corps sont un niveau d'activité minimum
- ✓ **Aspect sensoriel** : État d'esprit exprimant la satisfaction de son environnement l'individu ne peut pas dire s'il veut avoir plus froid ou plus chaud.

3. Les paramètres affectant le confort thermique

La sensation de confort thermique est de plusieurs paramètres (tableau 1)

a) Les paramètres physiques d'ambiance

Au nombre de quatre, sont la température de l'air ; la température moyenne radiante ; la vitesse de l'air ; et l'humidité relative de l'air

b) Les paramètres liés à l'individu

Ils sont multiples ; on recense notamment deux paramètres principaux qui sont l'activité et la vêtue de l'individu ;

c) Les paramètres liés aux gains thermiques internes

Gains générés dans l'espace par des sources internes autres que le système de chauffage (éclairage ; appareils électriques ; postes informatiques)

Tableau 1 : Paramètres influents sur la sensation de confort thermique

(Source : irsn.com)

Paramètre liés a l'individu	L'activité physique et l'habillement
Paramètre liés a l'environnement	La température
Autre influences	Gains thermique internes, de gré d'occupation des locaux couleurs, ambiance,.....etc.

3.1 Les Paramètres liés à d'ambiance extérieure

3.1.1 La température de l'air ambiant

La température de l'air, ou température ambiante (T_a). Est un paramètre essentiel du confort thermique. Elles interviennent dans l'évaluation du bilan thermique de l'individu au niveau des échanges convectifs, conducteurs et respiratoires.⁴

⁴ NEUF : « Climat intérieur/ confort, santé, confort visuel », Revue européenne d'architecture N° 7, novembre – décembre 1978, p 12.

Tableau 2 : valeurs de référence de température de l'air

Source : www.ineris.fr

<u>Type de locale</u>	<u>Température de l'air</u>
Locaux où des gens habillés normalement sont au repos ou exercent une activité physique très légère. par exemple: bureau, salle de cours, salles d'attente, salles de réunion ou de conférence.	21°C
Locaux où des gens habillés sont en repos ou exercent une activité très légère. par exemple salles d'examens ou soins médicaux, vestiaire.	23 à 25°C
Locaux où des gens habillés normalement exercent une activité physique très légère. par exemple ateliers, laboratoires, cuisines.	17°C
Locaux où des gens peu habillés exercent une grande activité physique par exemple salles de gymnastique, salle de sport.	17°C
Locaux qui ne servent que de passage pour les gens habillés normalement. par exemple corridors, cages d'escalier, vestiaire sanitaire.	17°C
Locaux uniquement gardés à l'abri du gel. par exemple garages, Archives.	5°C

Ces températures sont calculées pour une valeur moyenne de surface des parois inférieure de 2°C à la température de l'air. Elles sont acceptées dans certains cas comme température de confort dans le cadre d'une politique d'utilisation rationnelle de l'énergie.

3.1.2 La vitesse de l'air

La vitesse de l'air joue un grand rôle dans les échanges convectifs et évaporatoires, elles interviennent dans la sensation de confort thermique de l'occupant ; liés à la présence de courants d'air froids ou chauds localisés.

3.1.3 L'humidité relative de l'air

L'humidité relative de l'air influence les échanges évaporatoires cutanés, elle détermine la capacité évaporatoire de l'air et donc l'efficacité de refroidissement de la sueur.

Selon Liébard, A «entre 30% et 70 % L'humidité relative influence peu la sensation de confort thermique. Une humidité trop forte dérègle la thermorégulation de l'organisme car l'évaporation à la surface de la peau ne se fait plus, ce qui augmente la transpiration ; le corps est la plupart du temps en situation d'inconfort». ⁵

⁵ Liébard, A. et De Herde, A. 2005. Op.cit.p.29, in thèses de Mr. MAZARI. Mohammed, « Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public » Mémoire de magister en architecture, Septembre 2012. p 7.

3.2 Les paramètres liés à l'individu

3.2.1 La vêtue

Les vêtements permettent de créer un microclimat sous-sentimental, à travers leur résistance thermique ; en modifiant les échanges de chaleur entre la peau et l'environnement. Leur rôle essentiel est de maintenir le corps dans des conditions thermiques acceptables, été comme hiver.

3.2.2 L'activité

L'activité c'est un paramètre essentiel pour la sensation thermique de l'individu définissant directement le métabolisme de l'individu, c'est-à-dire la quantité de chaleur produite par le corps humain.

3.3 Les paramètres liés aux gains thermiques internes

Avec l'essor de la technologie et des besoins électriques (éclairage, électroménager.....) les apports de chaleur internes ont fortement augmenté. Les appareils électriques transforment en effet quasiment toute l'énergie qu'ils consomment en chaleur. Les postes informatiques sont également de vraies sources de chaleur et les occupants constituent eux aussi une autre source d'apport interne par leur métabolisme.

Les apports internes comprennent donc, toute quantité de chaleur générée dans l'espace par des sources internes autres que le système de chauffage. Ces gains thermiques dépendent du type de bâtiment du nombre d'utilisateurs, et de son usage.

D'après **Hugues Boivin** «*le confort de l'espace est directement influencé par le taux de ces gains internes*»⁶

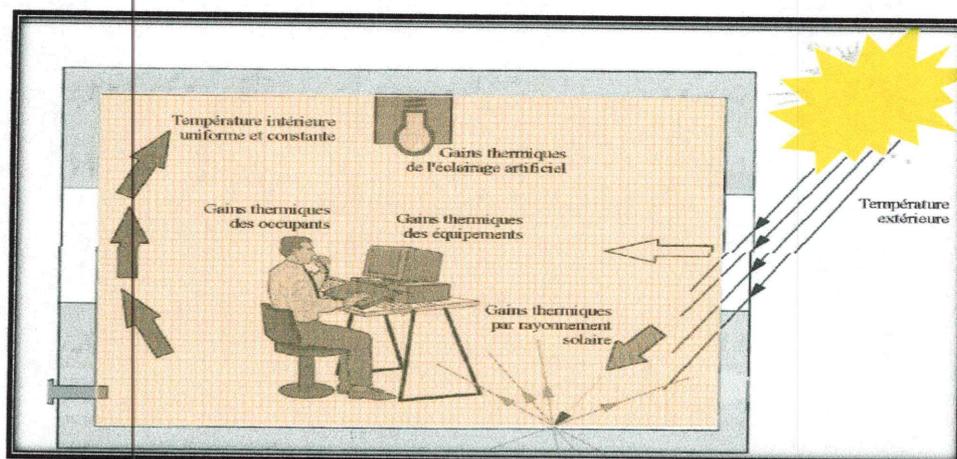


Figure 1 : les gains thermiques internes d'un espace

(Source : www.ecolomage.fr)

⁶ Izard-L. « Architectures d'été construire : pour le confort d'été », Edition Edisud, 1994, p141.

4. Les approches du confort thermique

4.1 Approche statique du confort thermique

L'approche statique envisage l'individu en tant que récepteur passif des excitations thermique avec l'environnement extérieur, le principe de cette approche repose sur le fait que les effets thermique d'une ambiance sont ressentis au niveau de la peau par des phénomènes de transfert de chaleur (conduction, convection, rayonnement) et de masse (perspiration, transpiration...).

4.1.1 L'aspect physiologique du confort thermique

L'homme est un **homéotherme**⁷ c'est-à-dire que sa température centrale est stabilisée à environ 37° en dépit des variations de la température .il s'agit d'un équilibre entre la thermogenèse (production de la chaleur) et la thermolyse (perte de chaleur).

Cet équilibre permet les performances biologiques, mentales physique optimales. Le centre de la thermorégulation se situe dans l'hypothalamus, qui permet de maintenir la température interne ; sont de deux types :

- *la thermorégulation chimique* (par la production interne de chaleur).
- *la thermorégulation physique* par la modification des paramètres d'ambiances ou de vêtements.

4.1.2 Aspect physique du confort thermique

L'homme est représenté comme une machine thermique et on considère ses interactions avec l'environnement en termes d'échange de chaleur. Donc l'aspect physique concerne le métabolisme et les déferents transferts de chaleur entre l'homme et l'environnement.

4.1.2.1 Le métabolisme

Le métabolisme (noté M) qui s'exprime en Met, représente la quantité de chaleur, produite par le corps humain, par heure et par mètre carré de la surface du corps au repos ainsi que la chaleur produite par l'activité humaine (Fige 2). C'est une grandeur toujours positive et non nulle, l'activité métabolique minimale vitale est évalué à 0.7 Met. Mais cette valeur est en fonction des paramètres physiologique notamment le poids, la taille, et le sexe.

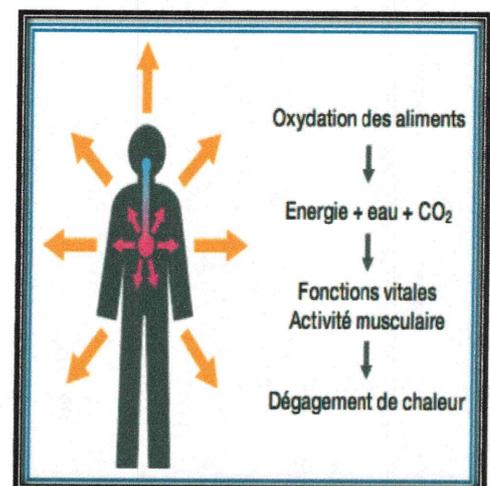


Figure 2 : le métabolisme humain.

(Source : energie2.arch.ud.ae.be)

Selon pierre Fernandez, on peut distinguer trois niveaux de métabolisme:

⁷ Homéotherme : dont la température centrale est constante et reste indépendante de celle du milieu extérieur

- **Métabolisme de base** : nécessaire à la vie de l'être humain.
- **Métabolisme de repos** : c'est la chaleur minimale produite dans des conditions pratique de repos par exemple en position assise.
- **Métabolisme de travail** : qui dépend de l'activité physique par exemple l'activité de sport⁸.



Photo 1 : Métabolisme de travail **Photo 2** : Métabolisme de repos
(Source: www.watchdek.com) (source : www.confort.sauter.com)

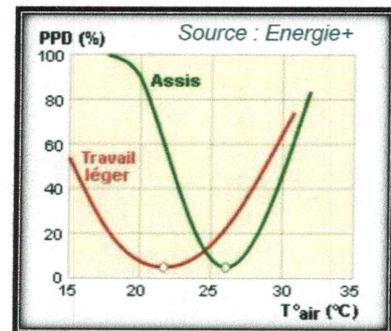


Figure 3: Correspondances entre et PPD pour deux activités différentes.
(Source: www.oxalis.asso.com)

4.1.2.2 Les échanges thermiques de Confort thermique

Ces échanges thermiques suivent cinq modes différents qui sont : la conduction, la convection, le rayonnement, l'évaporation et la respiration comme nous l'illustrons sur la figure 5.

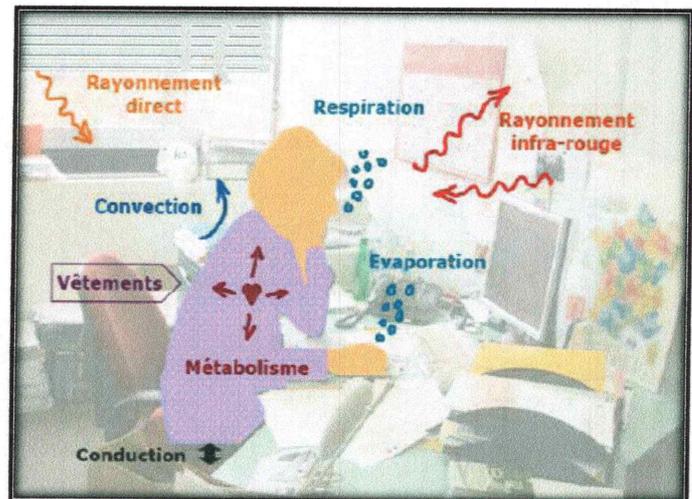


Figure 4: L'interaction thermique entre le corps humain
Et son environnement
(Source: www.hqe.guidenr.fr)

4.2 Approche adaptative du confort thermique

L'approche adaptative considère que les personnes ne sont pas passives vis-à-vis de leur environnement intérieur, mais jouent un rôle actif dans le maintien de leur confort thermique

⁸ Fernandez. P, et Ligne. P. « concevoir des bâtiments bioclimatique, fondements et méthodes ». le moniteur, 2009, p93. In thèses de Mr. MAZARI. Mohammed, « Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public » Mémoire de magister en architecture, Septembre 2012. p 12.

c'est-à-dire que l'homme peut agir sur son environnement en fonction de ses besoins et de sa perception du climat .

Humphreys considère le principe suivant : « *si une modification des conditions climatiques se produit et provoque de l'inconfort, les personnes entreprendront des actions visant à rétablir leur confort* ».⁹

L'ensemble de ces actions constitue la base de l'adaptation, plus le bâtiment est équipé de moyens d'adaptation et plus l'occupant est susceptible d'y éprouver du confort, le confort thermique ne serait pas le problème, le problème naît du fait qu'il existe de nombreuses contraintes limitant notre capacité à entreprendre l'une ou l'autre de ces actions. Les actions d'adaptation envisageables en plusieurs formes par exemple le comportemental d'ajustement .

4.2.1 Adaptation comportemental d'ajustement

Adaptation comportemental d'ajustement est la capacité d'un individu d'agir sur son environnement pour retrouver une situation de confort thermique, elle le place comme acteur de son environnement, et implique certain contrôle sur celui-ci. Dans l'approche adaptative le comportement est une manière de corriger une sensation thermique. Nous distinguons deux formes d'adaptation comportementale :¹⁰

- **Personnelle** : l'adaptation se fait par changement de paramètres de confort liés à l'individu (vêtement, activité) ou par d'autres comportements (changement de lieu, prendre une boisson chaude au froide
- **Environnement et technologique** : l'occupant intervient sur son ambiance par le contrôle manuel des installations (ouvrir ou fermer fenêtre, mise en marche d'un ventilateur).

5. Facteurs d'inconfort thermique

Malgré la réalisation d'un confort thermique global, des zones d'inconforts sont susceptibles d'être observées dans les bâtiments. Un environnement thermique inégal peut être la source d'inconfort pour certaines parties. L'insatisfaction thermique peut être causée par un inconfort, causé par un refroidissement non désiré d'une partie du corps (tête, pieds, ou mains). par exemple un courant d'air.

Un inconfort local peut également être dû à des différences de température normalement élevées entre la tête et la cheville, avec un sol trop chaud ou trop froid, ou à une asymétrie de rayonnement thermique. Ainsi, le confort thermique peut être affecté par plusieurs facteurs : le

⁹ Nicol F, Humphreys M, « *Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free-running buildings in European standard* » cite in Grignon-Masse, L 2010, p16.

¹⁰ Richieri, Fabrice. « *Développement et paramétrage de contrôleurs d'ambiance multicritères* » thèse soutenue à l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2008. p 302.

courant d'air local, l'asymétrie de la température de rayonnement, la différence verticale de la température de l'air et des planché.

5.1 Effet des courants d'air

La perception d'un courant d'air localisé notamment au niveau de la nuque ou du visage est un élément d'inconfort. Cette perception du courant d'air dépend de la vitesse de l'air, de la température de l'air, de la zone du corps concernée. Les courants d'air provoquent aussi une sensation de froid due à une convection assez importante entre la peau et l'ambient.

La norme recommande une vitesse d'air moyenne inférieure à 1.5m/s en hiver et à 0.25m/s en été lors d'un travail sédentaire.¹¹

5.2 Effet d'asymétrie d'un rayonnement thermique

Les asymétries du rayonnement sont dues, à la présence d'une paroi chaude ou froide telle qu'un plafond ou un planché chauffant, un vitrage chaud ou froid. En outre, le gradient vertical de température aussi un source d'inconfort. S'il est suffisamment élevé, il peut apparaître une sensation de chaud au niveau de la tête ou de froid au niveau de pied même si le corps est en état d'équilibre thermique.

l'asymétrie de température radiante doit être inférieure à 10 °C pour une paroi verticale froide (baie vitrée en hiver), et 5 °C pour une plafond chaud (plafond chauffant).

5.3 Effet de gradient thermique vertical de l'air

plafond En général, les températures sont plus élevées en hauteur donc au niveau de la tête, la norme admet une différence de température d'air maximum de 3°C entre 0.1m de sol (niveau des chevilles) et 1.1°C du sol (niveau de la tête chez une personne assise).

5.4 Effet de la température du sol

Hoffman J B, précise qu'une température de planché trop élevée ou trop basse entraîne un inconfort au niveau des pieds. Plusieurs auteurs ont effectué des recherches sur ce sujet et selon Olsen B W,¹² « les températures optimales de sol pour les personnes chaussées et à la neutralité thermique sont de 23° pour les personnes debout et de 25° pour les personnes assises ». D'autres éléments influençant le confort thermique : l'âge, le sexe, la nourriture, la localisation géographique, la couleur des murs, le bruit, la lumière.

¹¹ Corinne, M, « Travail à la chaleur et confort thermique » Les notes scientifiques et techniques de l'INRS, NST184, décembre 1999.

¹² Olsen B W, « thermal comfort requirement for floors and comfort thermique », cite in : Mansouri Y. (2003), p273.

Les médecins de l'habitat sain proposent les valeurs suivantes pour chaque facteur du confort :

- Température des murs : $22 \pm 2^\circ\text{C}$
- Humidité relative : entre 30 et 70 %
- Température sol : 19 à 24°C
- Vitesse de l'air : inférieure à 0.2 m/s
- Différence de température entre deux murs d'une même pièce doit être inférieure à 10°C
- Différence de température entre le sol et le plafond doit être inférieure à 5°C

6. Evaluation de confort thermique

L'évaluation du confort thermique dans les espaces est un paramètre capital dans toute conception architecturale. Les premières recherches se sont basées sur les enquêtes de terrain avec des questionnaires en classifiant la sensation thermique (très chaud, neutre et très froid) ainsi que sur les essais de laboratoires sous des conditions climatiques artificielles. Cette évaluation a conduit plusieurs chercheurs à développer et élaborer des indices de prédiction des niveaux de confort à l'intérieur des bâtiments.

En plus des indices thermique, des tentatives ont été effectuées pour combiner les facteurs environnementaux sous forme d'outils graphiques qui permettent de prédire des zones de confort, connus sous le nom de diagrammes bioclimatiques, ces outils sont également développés pour permettre d'obtenir des bâtiments confortables, adaptés aux variables climatiques.

6.1 Indices pour l'évaluation de confort thermique

De nombreux travaux de recherche, réalisés à l'intérieur des bâtiments ou dans des conditions expérimentales parfaitement contrôlées en laboratoire, ont recensé les principales causes d'inconfort et ont permis d'établir un certain nombre d'indices nommés, les indices de confort thermique qui sont en général définis en fonction de la température et la vitesse de l'air.

6.1.1 Les indices PMV et PPD

À partir d'études réalisées en laboratoire sous des conditions stables, c'est-à-dire sans que l'individu ne change ni de vêtements, ni d'activité physique, Fanger a développé les indicateurs de confort thermique ; le PMV et le PPD.

❖ **Le PMV (Vote Moyen Prévisible) :** Le PMV établi par Fanger permet de mesurer une sensation thermique globale du corps humain à partir du métabolisme et donne la moyenne des votes en référence à une échelle de sensation thermique.

Les valeurs de l'indice PMV varient entre -3 et 3 comme l'indique le Tableau suivant :

Tableau 3 : Correspondances entre PMV et échelle des sensations thermiques

(Source : energie2.arch.ud.ac.be)

VALEURS DE L'INDICE PMV	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3
SENSATION THERMIQUE	Chaud	Tiède	Légèrement tiède	Neutre	Légèrement Frais	Frais	Froid

- ✓ Une valeur de **PMV de zéro** exprime une sensation de confort thermique optimale.
- ✓ Une valeur de **PMV négative** signifie que **la température est plus basse** que la Température idéale et réciproquement une valeur positive signale qu'elle est plus élevée.
- ✓ On considère que la zone de confort thermique s'étale de la sensation de légère fraîcheur à la sensation de légère chaleur, soit de -1 à +1.

❖ **Le PPD (le pourcentage prévisible d'insatisfaits)**

Selon W. Rybczynski :¹³ « Il est plus simple d'évaluer le manque de confort que le confort » Le pourcentage prévisible d'insatisfaits donne en fonction de l'indice PMV d'une situation thermique précise, exprime sous forme des pourcentages les sujets d'insatisfaits d'une ambiance thermique déterminée.

- ✓ Le diagramme permet d'évaluer directement le PPD. Si par exemple, le PMV est de -1 ou +1 l'indice PPD montre que près de 25% de la population n'est pas satisfait. Pour ramener le PPD à une valeur maximale de 10 % le PMV doit se situer entre -0.5 et +0.5, en peut noter :

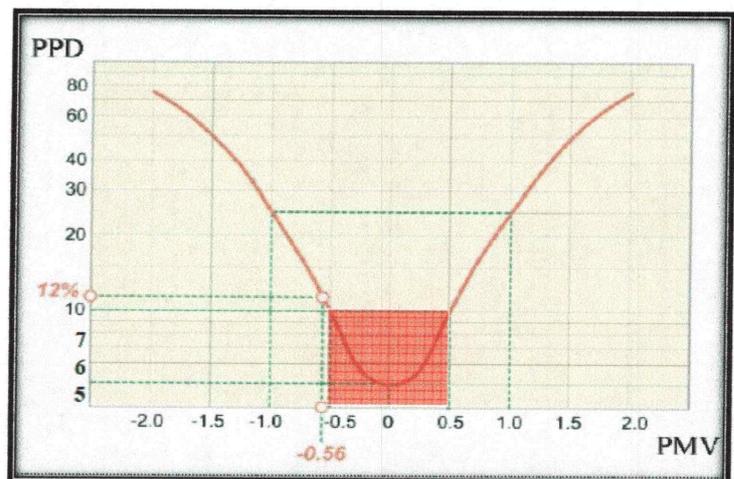


Figure 5 : Correspondances entre PMV et PPD

(Source : energie2.arch.ud.ac.be)

$$-0.5 < \text{PMV} < 0.5 \text{ Soit } \text{PPD} < 10\%$$

- ✓ Plus le pourcentage de PPD est grand (nombre d'individus qu'on est prêt à accepter) plus l'intervalle de PMV est étendu.

¹³ Hamel khalissa, « Confort Thermique », Département d'architecture de l'université de Biskra, Master 1 Architectur et Environnement, Cours N° 1.

6.1.2 La température de l'air ambiant (T_a)

Elle représente l'indice le plus utilisé pour le contrôle des ambiances en intérieur du fait de la simplicité de sa mesure. Ce paramètre ne présente pas de grosses difficultés de mesure et d'évaluation, mais revête un caractère toutefois limité pour la caractérisation complète de l'indice du confort. Indice connu de tous, la température de l'air sera donc largement utilisée il est utilisé pour définir les consignes de température références pour les installations de chauffage en période hivernale et la climatisation en période estivale.

6.1.3 La température opérative (T_{op})

De façon simplifiée on définit une température de confort ressentie (température de l'air et température des parois). C'est un indice de confort thermique intégrant deux paramètres physique, la température de l'air ambiant et la température moyenne radiante. Il s'agit donc d'un indice d'appréciation des effets convectifs et radiatifs sur le confort de l'individu.

La norme ISO fournit le calcul simple de cet indice par la formulation suivant :

$$T_{op} = k T_a + (1-a) T_{mrt} \quad \text{avec :}$$

- T_{op} : la température opérative. ($^{\circ}\text{C}$)
- T_a : La température d'air. ($^{\circ}\text{C}$)
- T_{mrt} : La température moyenne radiante ($^{\circ}\text{C}$)
- a : Le coefficient en fonction de la vitesse de l'air

Tableau 4 valeur de a en fonction de la vitesse de l'air

Source : www.u-picardie.fr

Vitesse(m/s)	0 – 0,2	0,2 – 0,6	0,6 – 0,7
a : coefficient	0,5	0,6	0,7

- ✓ Avec des vitesses de l'air inférieures à 0.2m/s la température opérative est égale avec une bonne approximation est peut être écrit comme suit : $T_{op} = (T_a + T_{mrt})/2$

6.2 L'évaluation de confort thermique par les enquêtes in situ

Les études in situ sur le confort thermique ont constitué une étape importante pour l'évaluation du confort thermique dans les constructions. Les enquêtes se sont multipliées sous les différents climats (sec, humide, méditerranéen,.....etc).

Les enquêtes in situ visent à explorer le confort thermique auprès des sujets sur leurs lieux de vie ou de travail habituels à travers les mesures physiques de l'ambiance. Ces enquêtes permettent de collecter à la fois des paramètres concernant l'ambiance thermique



(température, humidité.....) et les réponses de sensation thermique des occupants qui se trouvent dans des situations réelles de la vie quotidienne.

Les méthodes d'enquête utilisées ont été aussi variées que leurs objectifs. Certaines enquêtes sont exploratoires elles cherchent à déterminer les conditions réelles du confort thermique dans différents types de bâtiment sous différents climats. On peut classer les enquêtes in situ en trois niveaux selon l'étendue et la précision des mesures réalisées.

6.3 L'évaluation de confort thermique par outils graphique

En plus des indices thermique, il y a des tentatives qui ont été effectuées pour combiner les facteurs environnementaux sous forme d'outils graphiques qui permettent de ramener les conditions intérieures dans la zone de confort ou le plus proche possible de cette zone..

6.3.1 Définition du diagramme bioclimatique

Le diagramme bioclimatique est un outil d'aide à la décision globale du projet permettant d'établir le degré de nécessité de mise en œuvre des grandes options architecturales à partir des exigences de confort thermique, et des profils du climat extérieur, sur un même graphique qui représentent l'inertie thermique, la ventilation généralisée, le refroidissement évaporatif, le chauffage ou la climatisation.¹⁴

Parmi les outils les plus connus dans ce domaine on peut citer le diagramme bioclimatique d'**Olgay**, celui de **Givoni** (voir l'annexe 1), les tables **Mahoney**, la méthode de **Szokolay** ainsi que celle de **Novell**. Le diagramme bioclimatique combine plusieurs types de données voir le tableau suivant:

¹⁴ Izard, J-L. Kaçala, O, « le diagramme bioclimatique en Irlande méditerranéenne, laboratoire abc, esnamarseille, 2008 », à partir du site <http://www.marseille.archi.fr/izard/> -é.2008. consulté le 1/1/2015.

Tableau 5 : les données du diagramme bioclimatique

(Source :cybergeor.revues.or)

<u>Les données du climat extérieur</u>	<u>Les donne du confort thermique</u>	<u>Les donnes des solutions architecturales</u>
Température de l'aire ambiant et humidité, la température radiante moyenne ,la vitesse du vent, le rayonnement solaireetc.	Paramètre de contrôle du confort thermique	-Inertie thermique -résistance thermique -Ventilation -Captation solaire -Système de chauffage et de climatisation naturelle

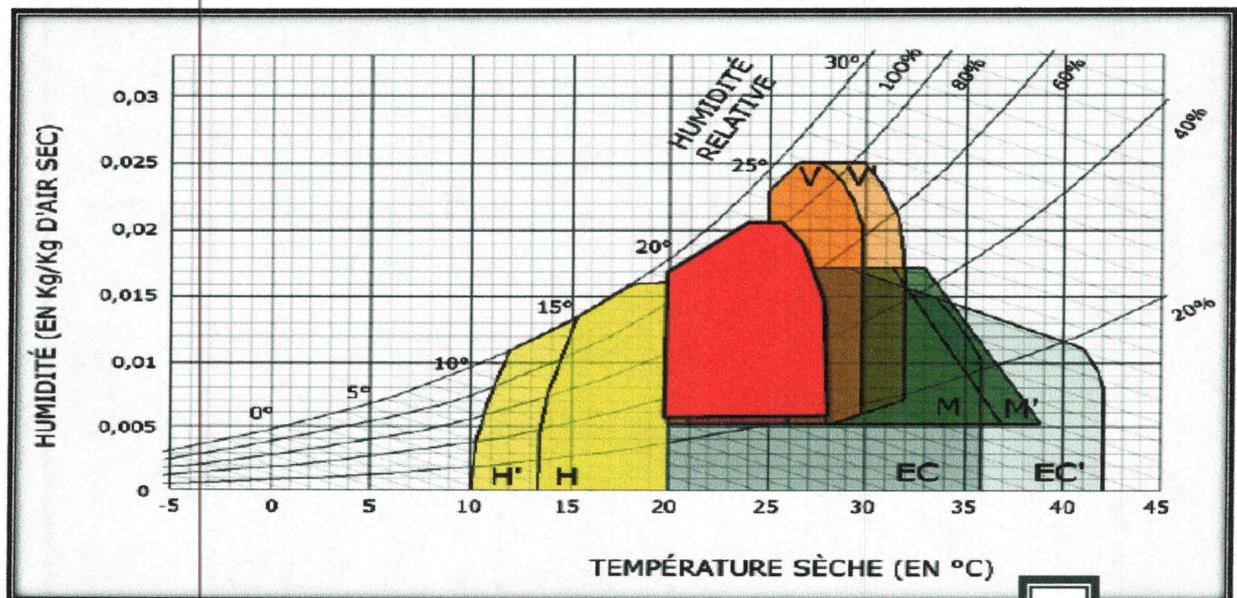
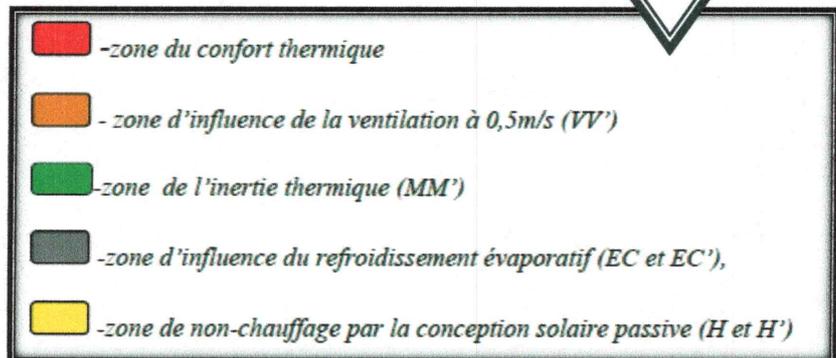


Figure 6 : Diagramme bioclimatique.

source :www.energieplus.lesite.be



7. Comment améliorer le confort thermique et diminuer sa facture énergétique

Il est possible de diviser par 2 ou plus sa facture énergétique et d'améliorer son confort grâce à une **rénovation thermique globale, efficace** et avec un recours aux **énergies renouvelables**.¹⁵ À travers solutions de sobriété,¹⁶ l'efficacité énergétiques.¹⁷

Voici quelques conseils pour améliorer le confort thermique de votre logement en été et en hiver :

7.1 Comment améliorer le confort thermique de son habitation en hiver ?

1. Chauffer par rayonnement si possible (planchers chauffants, radiateurs/panneaux rayonnants) permet d'obtenir une température opérative agréable.
2. Bien isoler son habitation notamment les combles mais aussi les murs, les surfaces vitrées, les sols et plafonds, ce qui permet :
 - ❖ D'éviter l'effet de paroi froide (rayonnement froid des murs).
 - ❖ De conserver une température constante et uniforme à l'intérieur et ainsi limiter les mouvements d'air.
3. Contrôler les mouvements d'air :
 - ❖ Avoir une maison bien étanche à l'air pour éviter les courants d'air et les entrées d'air froid par jours venteux.



¹⁵ <http://www.iziéco.html>. « Comment diminuer sa facture énergétique et améliorer son confort ».

¹⁶ **Sobriété** : Minimiser les déperditions énergétiques en renforçant l'isolation afin de diminuer la puissance de chauffage nécessaire à son logement.

¹⁷ **L'efficacité énergétique** : Nos consommations d'énergie diminuées, il s'agit de développer massivement les énergies renouvelables, pour couvrir efficacement nos besoins.

- ❖ Avoir un système d'aération générale (entrée d'air dans le séjour ou la chambre et sortie au niveau de la cuisine, salle de bain ou WC) bien conçu pour éviter les désagréments.
- 4. Evacuer l'humidité : il est impératif d'évacuer la vapeur d'eau due à l'activité des occupants car une humidité supérieure à 70% provoque un inconfort thermique important. Pour évacuer l'humidité sans perdre trop de chaleur, il est important d'utiliser une VMC possible double flux bien réglée.

7.2 Comment améliorer le confort thermique de son logement en été ?

En été, nous voulons rafraichir le logement au maximum. Nous pouvons pour cela :

1. Limiter les apports solaires (rayonnement solaire dans la maison) sa concerne Surface vitrée ; Choix du vitrage ; Protections solaires.
2. Sur-ventiler la nuit pour amener de l'air frais dans le
3. Utiliser des matériaux ayant un déphasage adapté pour éviter une montée en température insoutenable dans l'après-midi
4. Apporter de l'inertie à votre habitation : vous pouvez limiter l'influence des variations de température extérieure sur la température intérieure de votre maison – c'est-à-dire que votre maison peut emmagasiner de la fraîcheur la nuit pour limiter l'élévation de température dans la journée
5. En dernier ressort, à éviter car c'est très énergivore, il est possible de climatiser ou de rafraichir son logement

Conclusion

Le besoin urgent d'économie d'énergie ne doit pas pour autant compromettre la Qualité des ambiances thermiques intérieures. Cela nécessite une nouvelle vision sur le Confort thermique considéré actuellement sous une approche analytique dans les normes. Qui apporte une vision réductrice du confort thermique basée sur les Mécanismes physiques et physiologiques.

L'intérêt au bien-être de l'homme est un sujet soulevé et approché par de multiples disciplines. Cet intérêt se fonde sur les rapports d'échanges qu'entretient l'homme avec son environnement, que ce soit naturel ou construit. La relation entre le comportement humain et les variables physiques de l'environnement fait l'objet d'étude privilégié de la psychologie écologique, et de l'architecture.

L'étude et l'évaluation du confort thermique ont d'abord été abordées à travers des indices de confort déterminés par les expérimentation et des mesures in situ, suite aux indices thermique , des tentatives ont été effectuées pour combiner les facteurs environnementaux sous forme d'outils graphique qui permettent de prédire des zones de confort connus sous le nom de diagrammes bioclimatiques considéré comme une technique universelle dévaluation du confort thermique, applicable pour tous les cas de types de construction, de zones climatiques et des populations différentes.

Donc ces outils ne sont pas des outils de dimensionnement précis du projet mais ils constituent bien des guide pour aider l'architecte à prendre les bonnes décisions en phase esquisse pour assurer une meilleur confort thermique.

Chapitre 2



*L'isolation
thermique*

INTRODUCTION

La lutte contre le gaspillage d'énergie passe par l'isolation thermique des bâtiments chauffés, elle fait l'objet d'une réglementation précise datant de plus d'une trentaine d'années. L'isolation des nouveaux logements est obligatoire, mais c'est aussi un moyen efficace de réduire les dépenses de chauffage et de climatisation (elle fonctionne aussi en été !) tout en améliorant le confort.

L'isolation thermique représente la protection thermique ou « le manteau thermique » qui protège la maison contre le froid. Quel que soit leur type elle est créée un rempart intérieur/extérieur des flux sortants autrement dits déperditions de chaleur. Donc c'est le premier acte en termes de sauvegarde de l'énergie, quelle que soit l'origine de celle-ci.

1. Définition

L'isolation thermique est « barrière à chaleur » désigne l'ensemble des moyens mis en œuvre pour limiter les transferts des calories et frigorifiques entre le milieu intérieur et le milieu extérieur d'un bâtiment, elle vise à conserver la chaleur (ou la fraîcheur) l'intérieur des espaces de vie, elle empêche la chaleur de s'évacuer des logements chauffés en hiver elle empêche de pénétrer à l'intérieur en été, une bonne isolation augmente le confort thermique et permet de faire des économies importantes en énergie.¹⁸

2. Les points clés de la réglementation

Les premières règles imposant l'isolation thermique dans le bâtiment remontent aux années 70. Un minimum d'isolation était exigé sur toutes les parois pour répondre à un coefficient dit « G ». Depuis, les règles ont évolué, avec l'intégration des apports solaires (coefficient B), des niveaux de performance des équipements thermiques (coefficient C), des autres consommations (eau chaude sanitaire, éclairage, ...), pour arriver à la réglementation RT 2000, 2005, et actuellement la RT 2012.

La réglementation thermique 2012, comme la conception basse consommation (BBC) en général, possède un objectif de maîtrise de l'énergie. C'est-à-dire que quelle que soit la construction elle doit être économe en énergie. Cela dès la réalisation du bâtiment. Celui-ci doit être

¹⁸ Association Canadienne de l'isolation thermique, « *Guide des meilleures pratiques d'isolation mécanique* »

suffisamment isolé thermiquement, il devra être protégé des infiltrations, et de plus récupérer les apports solaires gratuits par les fenêtres (solaire passif). De part ces dispositions, nous influons dès la conception sur un coefficient réglementaire climatique BBio, qui a été créé pour limiter dès la conception la consommation énergétique quelque soit le système de chauffage ou d'éclairage que recevra la construction.

3. Pourquoi isoler?

- ❖ Une bonne isolation thermique est également bénéfique pour l'environnement car, en réduisant les consommations d'énergie pour le chauffage et / ou la climatisation, elle permet de préserver les ressources énergétiques et de limiter les émissions de gaz à effet de serre.
- ❖ Ainsi, l'isolation thermique est intéressante pour augmenter le confort dans l'habitat à travers la suppression d'effet « parois froides ».
- ❖ Plus d'économies d'énergie car une bonne isolation thermique vous permet de réduire les déperditions. Les besoins en chauffage sont diminués et votre facture allégée. En été, l'isolation fait barrière à la chaleur et au rayonnement solaire extérieur.

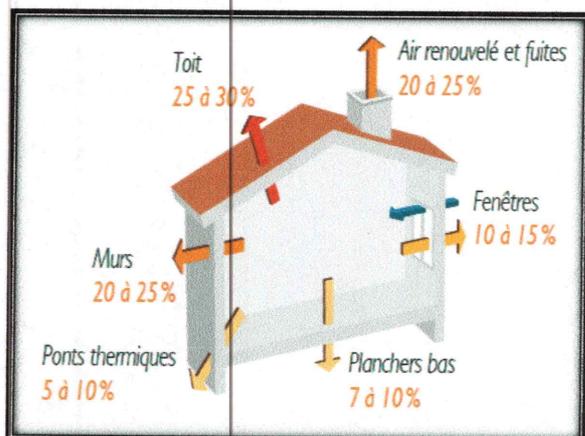


Figure 4: Pertes de chaleur d'une maison Individuelle non isolée
Source : www.toutplaco.com

- ❖ Une meilleure valeur patrimoniale, Au moment de la vente ou de la location, votre maison bénéficiera d'un meilleur classement sur l'étiquette énergie du Diagnostic de Performance Énergétique.¹⁹

4. Comment isoler ?

En matière de l'isolation thermique, il existe de nombreuses solutions pour isoler un bâtiment, une maison ou un appartement. Selon la zone sur l'on veut isoler (parois vitrées,

¹⁹ Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, « *Isoler son logement* » Édition : juillet 2014, p5.

murs, combles perdus, combles habitables, toiture terrasse et planchers), en choisira en effet les différentes techniques les plus appropriées et les différents produits isolants les plus efficaces. Et parmi les bonnes questions à poser avant d'isoler en à :

- ✓ Une isolation doit toujours être associée à une ventilation bien réalisée qui peut être Naturelle ou assistée mécaniquement [VMC] hygroréglable, double flux...).
- ✓ Une isolation ne doit jamais être exécutée sur une paroi présentant des signes d'humidité.
- ✓ L'isolation doit être bien conçue et réalisée de façon à minimiser les effets des ponts thermiques.

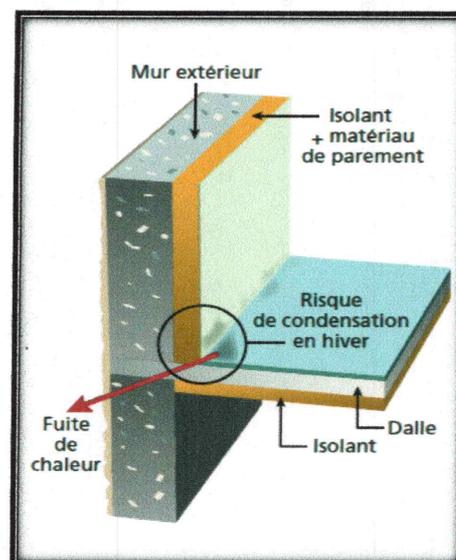


Figure 5 : Pont thermique d'un Plancher.

Source : www.entrepreneurvert.fr

- ✓ Pour garantir une isolation réussie, il est important de bien choisir les produits d'isolation avec des professionnels expérimentés qui les mettront en œuvre (voire l'annexe 2). La résistance thermique d'un matériau isolant est d'autant plus élevée que son épaisseur est grande et que son coefficient de conductivité (λ) est faible. Plus R est important, plus le produit n'est isolant.
- ✓ Pour une garantie de la performance et de la qualité : il faut choisir un produit certifié. Donc bien Comprendre les caractéristiques techniques des matériaux isolants.²⁰

4.1 Les particularités des bâtiments anciens

Les bâtiments avec des murs épais, souvent en pierre ou en briques, ont une forte inertie thermique (la chaleur met du temps à traverser la paroi).



Photo 3 : bâtiment ancien avec des murs épais.

Source : www.isover.fr

²⁰H. Bateau, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, « Améliorez le confort de votre maison, l'isolation thermique », Édition : Mars 2008, page 21.

En l'isolant par l'intérieur avec des matériaux à faible inertie, il y aurait un risque de diminuer ce confort d'été. Les murs anciens ont également des qualités de régulation de l'hygrométrie. Les murs en pierre, par exemple, absorbent l'humidité lors des périodes pluvieuses et la restituent lors des périodes plus sèches.

La solution d'isolation devra donc prendre en compte ces particularités. Une analyse complète du bâtiment est nécessaire avant d'engager les travaux pour ne pas perturber les équilibres thermiques et hygrométriques. Il faudra également veiller à utiliser un enduit approprié sur les murs donnant sur l'extérieur. Cet enduit à l'extérieur doit être Respirant (c'est à dire perméable à la vapeur d'eau), en chaux ou en plâtre par exemple. L'enduit ciment, ne laissant pas aisément passer la vapeur d'eau, est à proscrire.

5. les techniques d'isolation du sol au plafond

L'isolation est envisageable sur tous les "éléments" de construction de votre maison, comme le montre le schéma ci-dessous.

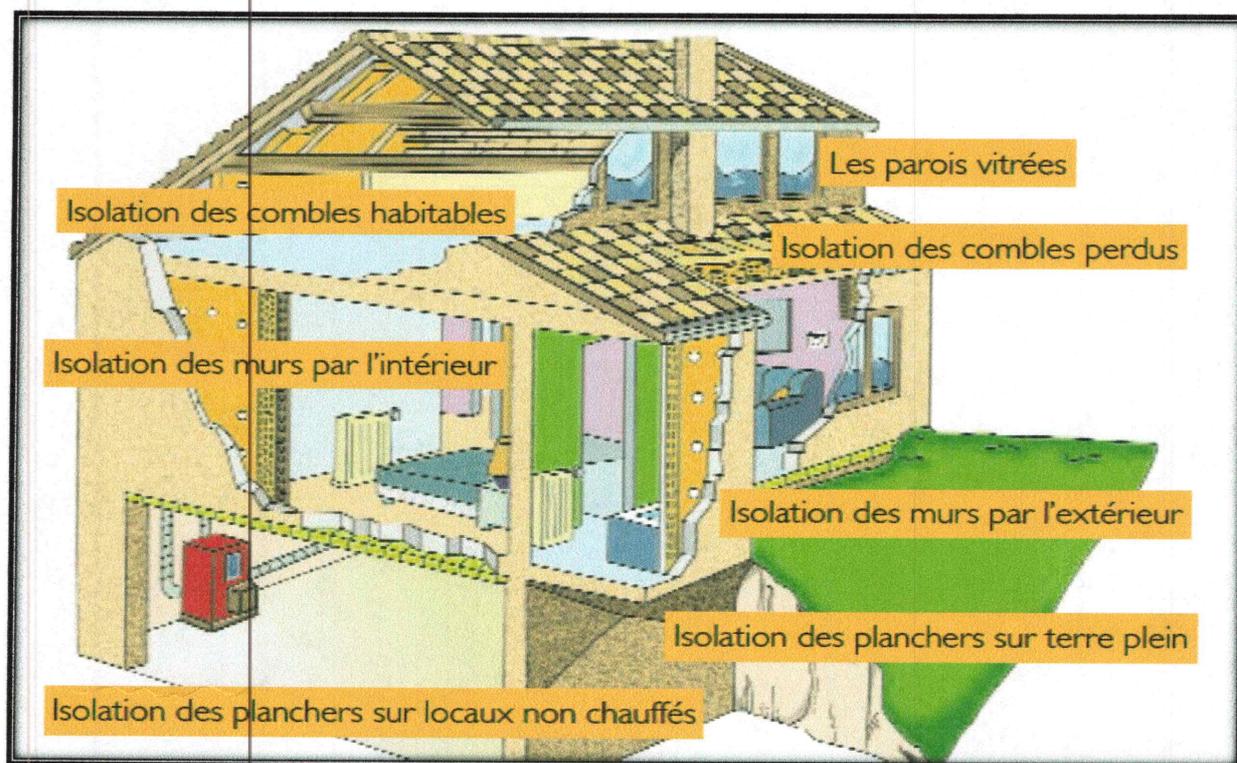


Figure 6 : Les éléments à isoler dans une construction

Source : www.bienisoler.com

5.1 L'isolation des combles et toiture

L'isolation de la toiture est la plus rentable, c'est la première étape à réaliser car le potentiel d'économies d'énergie est important. En effet, l'air chaud, plus léger, s'élève naturellement et vient en grande partie se loger sous le toit.

Une isolation à moduler selon

l'usage des combles

La toiture est souvent la partie la plus facile à traiter. La pose est plus simple et nécessite bien souvent moins de travaux de finition que pour les autres parties de l'enveloppe.

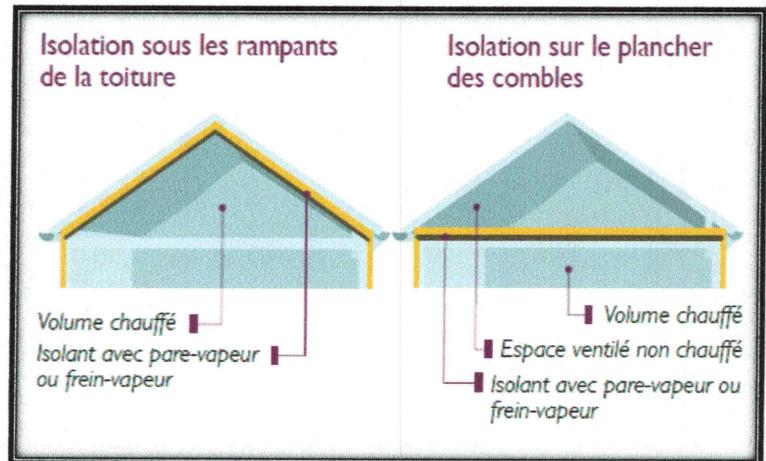


Figure 7 : L'isolation des combles selon le type d'emplacement de l'isolant

Source : www.entrepreneurvert.fr

Le choix des travaux à réaliser et des techniques possibles dépend de l'état de la charpente et de la couverture, de l'usage des combles et de la place disponible pour poser l'isolant. Selon l'usage de vos combles, les professionnels peuvent vous proposer d'isoler : le plancher des combles perdus (ni occupés, ni chauffés), les versants de toiture des combles habitables ou aménageables. Pour réduire les besoins de chauffage, il est essentiel d'isoler au plus près du volume chauffé.

5.1.1 Les combles perdus

Ce sont des locaux situés sous des toitures inclinées. Ils ne sont pas chauffés et doivent être séparés du logement chauffé par une barrière isolante. L'isolation de cette partie est nécessaire car les déperditions de chaleur sont importantes. Dans les combles perdus, deux possibilités : combles avec Plancher et combles avec solives.²¹

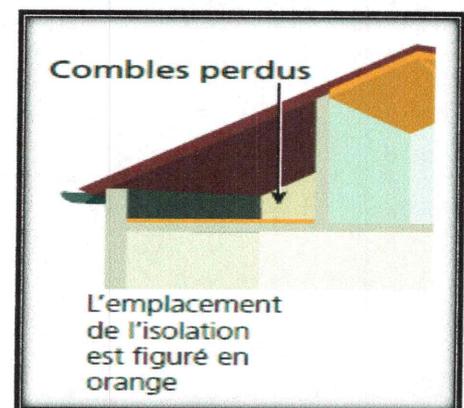


Figure 8: Comble perdu

Source : www.toutplaco.com

²¹ Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 2014, op cit, p21.

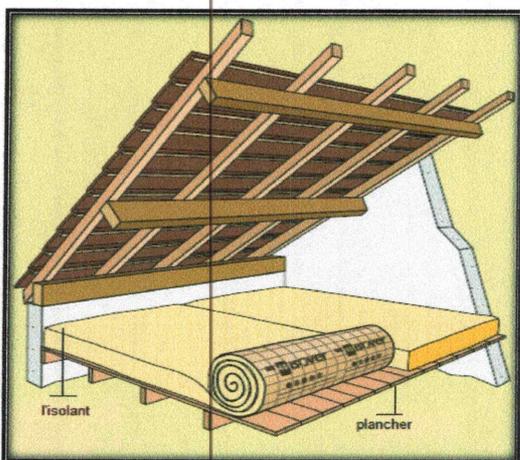


Figure 9: L'isolation d'un comble
Avec plancher

Source : www.isover.fr

- les isolants en panneaux (polystyrène, polyuréthane). Ils sont disposés jointifs sur le plancher.

5.1.1.2 Les combles avec solives

Les mêmes matériaux que pour les combles avec planchers sont prescrits et sont disposés entre les solives. On prescrira une couche entre solive de l'épaisseur de celle-ci et une seconde couche perpendiculaire pour assurer une bonne continuité thermique.

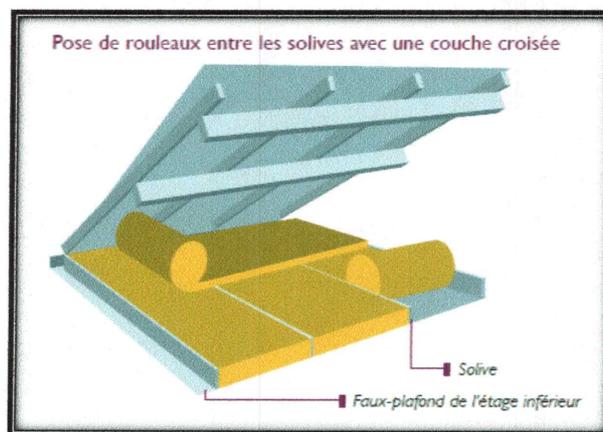


Figure 10: L'isolation d'un comble Avec plancher

Source : www.energissime.fr

5.1.2 Les combles habitables / aménageables

Les combles habitables sont situés sous une toiture inclinée et sont chauffés puisqu'on y habite. Deux techniques d'isolation peuvent vous être proposées : l'isolation par l'intérieur grâce à des panneaux semi-rigides ou des rouleaux, (sous les chevrons et / ou entre les chevrons) et l'isolation par l'extérieur, après dépose de la couverture. Réalisée au moyen de panneaux de toiture porteurs qui comprennent le support ventilé de couverture.

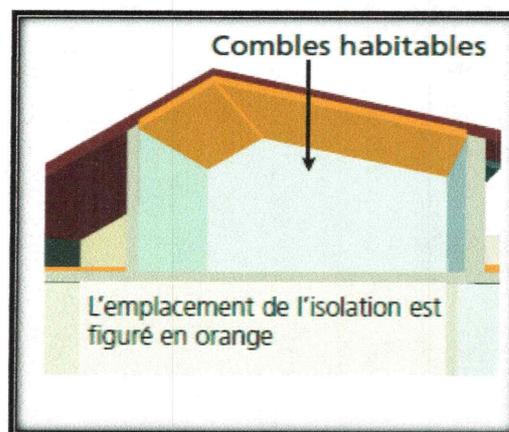


Figure 11 : Comble habitable

Source : www.energissime.fr

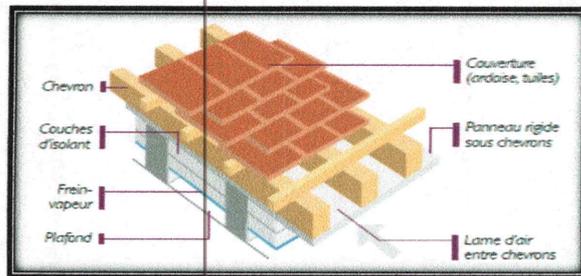


Figure 12 : L'isolation par panneaux
Source : www.isover.fr

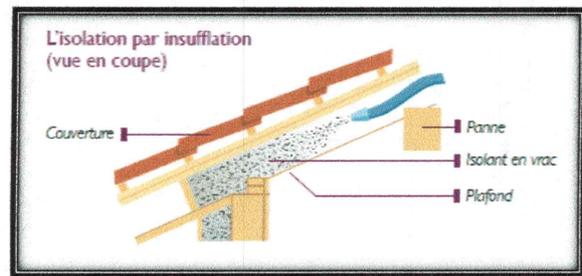


Figure 13: L'isolation par insufflation
source : www.isover.fr

5.1.3 Les toitures-terrasses

L'étanchéité et l'isolation de la toiture sont soumises à une garantie Décennale. Seul un professionnel qualifié peut intervenir. Ne jamais isoler une toiture-terrasse par l'intérieur ! Mais par l'intérieur, en mettant un isolant contre le plafond du dernier étage de la construction. Une telle disposition est interdite par les règles de l'art, elle est donc à proscrire absolument.²²

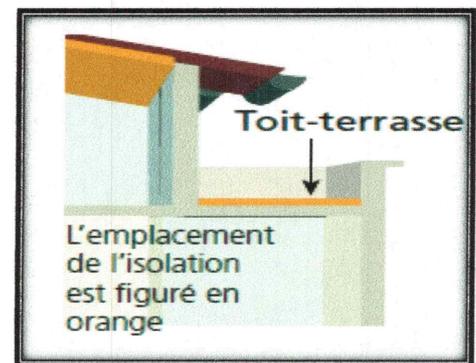


Figure 14 : Toi-terrasse
Source : www.energissime.fr

5.2 L'isolation des plancher

L'appréciation de la qualité thermique d'un plancher, pour aider à déterminer le choix en termes d'isolation, se fonde sur des critères indissociables :

- la constitution du plancher.
- la nature des liaisons entre plancher

Et parois verticales adjacentes.

- la présence et la nature d'un éventuel volume d'air sous le plancher.

Deux cas de figure peuvent se présenter :

5.2.1 Les planchers sur terre-plein

- l'isolation doit être intégrée sur toute la Sous-face du plancher.
- la dalle peut être constituée d'entrevous isolants à languettes certifiés.

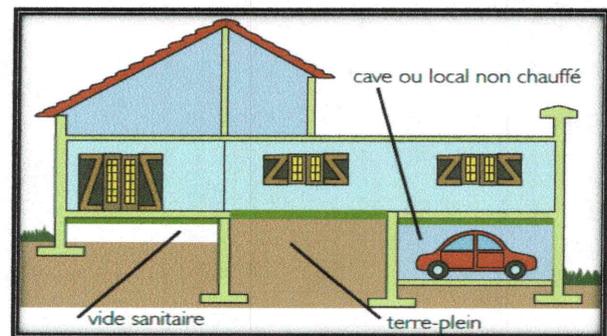


Figure 15 : les Différent types des planchers
Dans une construction
Source : www.isover.fr

²² H. Bateau, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, « Améliorez le confort de votre maison, l'isolation thermique », Édition : France, Mars 2008, p21.

• l'isolation peut être réalisée par un isolant sous dalle flottante (dans ce cas, pensez à inclure le système de chauffage dans la dalle. Dans le cas des planchers sur terre-plein ancien, le seul moyen est de rapporter un isolant sous dalle flottante.²³

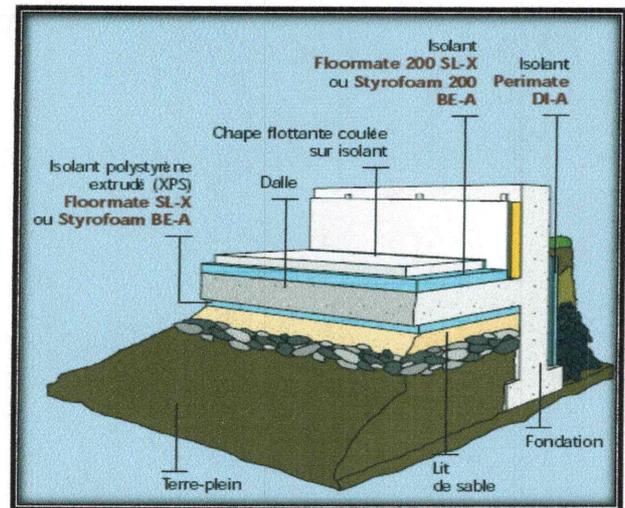


Figure 16 : Isolation d'un plancher sur terre plein

Source : www.systémed.fr

5.2.2 Les planchers sur vide sanitaire ou locaux non chauffés

Le vide sanitaire est un espace inutilisé de faible hauteur, situé entre le sol et le plancher bas d'une construction. Il a pour fonction d'assainir le bâtiment et de prévenir les risques de désordres dus à l'eau provenant du sol. Il est généralement ventilé :²⁴

- pour des raisons de sécurité.
- pour des raisons de durabilité des Planchers (bois, ossature bois ou métallique)
- pour éviter les problèmes liés à l'humidité.

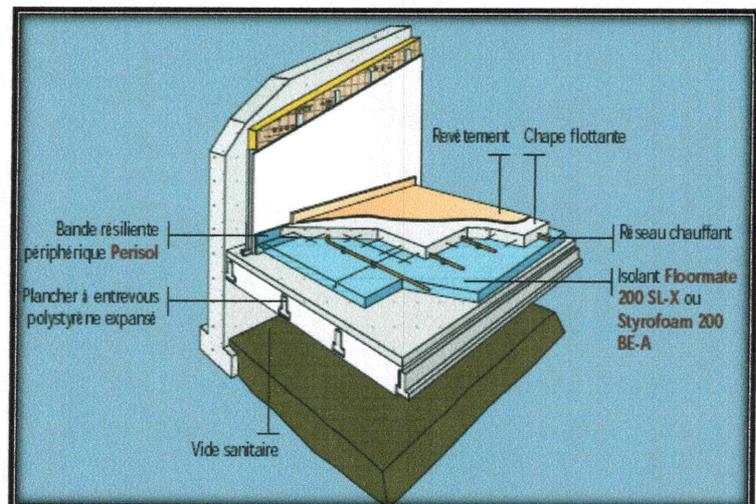


Figure 17 : Isolation d'un plancher sur vide sanitaire

Source : www.systémed.fr

5.2.3 Les techniques d'isolation adaptées

Les mêmes techniques que pour les planchers sur terre-plein peuvent être utilisées. Toutefois, l'accès à la sous-face offre de nouvelles possibilités. Ainsi est-il possible de fixer mécaniquement des panneaux-composites en sous-face.

Si le plancher est en bois, après le traitement, il est également possible de réaliser un plafond suspendu isolé. La laine minérale est alors un choix intéressant dans la mesure où il n'y a pas de risque d'humidité et de présence de petits rongeurs. Dans le cas d'un plancher à

²³ Saint-Gobain Isover « Guide La Thermique Du Bâtiment », Ed. France, Mai 2007, p 98.

²⁴ Saint-Gobain Isover 2007, op cit, p 97.

poutrelles et hourdis en haut de sous-sol, il existe des solutions à base de plaques de plâtre fixées sur ossature métallique.

5.3 L'isolation des murs par l'intérieur

5.3.1 Pourquoi choisir ce type d'isolation ?

Elle est intéressante lorsque le ravalement extérieur est en bon état. Elle permet :

- De ne pas modifier l'aspect extérieur de la maison. Elle entraîne toutefois une diminution de la surface habitable et sa mise en œuvre peut être contraignante pour :

L'ouverture des fenêtres, passage des canalisations, prises électriques...

- D'améliorer votre confort à un coût relativement peu élevé
- Attention : avec l'isolation par l'intérieur il est très difficile d'assurer la continuité de l'isolation.

5.3.2 Les panneaux isolants :

Ils se fixent par collage directement sur le mur ou par vissage sur des lattes de bois, avec création d'une lame d'air entre le mur et l'isolant. La pose s'effectue donc à l'aide d'un seul produit (isolant et parement intérieur). Les caractéristiques hygrométriques de la paroi finale dépendent des produits utilisés. Deux possibilités pour fixer des panneaux isolants :

V.3.3 L'isolant est derrière une contre-cloison maçonnée ou sur ossature

L'isolant est le plus souvent collé ou fixé mécaniquement au support. La contre-cloison est en briques plâtrières ou en carreaux de plâtre ou encore en plaques de plâtre vissées sur des ossatures. Cette technique est adaptée pour l'isolation des murs irréguliers. En permettant de rattraper les inégalités de surface. En dissociant l'isolant du parement, on peut contrôler la bonne mise en œuvre de l'isolation. Ce système permet d'insérer, sans détériorer l'isolation, les câbles et prises électriques.²⁵



Photo 4 : Mise en œuvre d'un Isolant Par l'intérieur

Source : www.isover.com

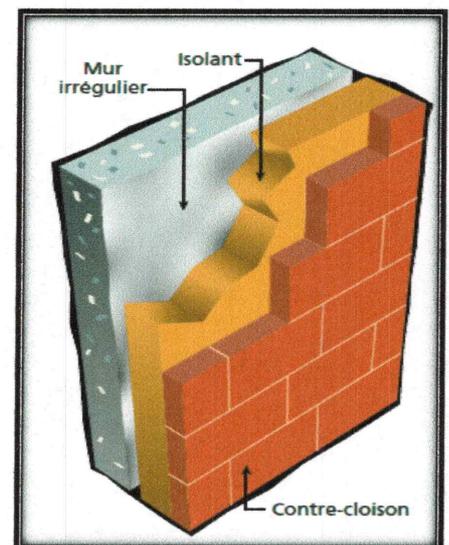


Figure 18 : fixation d'un L'isolant et une Contre-cloison maçonnée.

Source : www.iso-solar.com

²⁵ H. Bureau, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, « Améliorez le confort de votre maison, l'isolation thermique », Édition : France, Mars 2008, p13.

5.3.4 Les panneaux composites ou complexes de doublage

Ils se composent d'un panneau isolant (polystyrène expansé, polystyrène extrudé, polyuréthane ou laine minérale) revêtu d'un parement en plâtre (qui évite la contre cloison). Les panneaux sont fixés contre le mur, par collage (paroi sèche et plane) ou par vissage sur tasseaux (fixés préalablement au mur. Ils permettent de ménager une lame d'air entre l'isolant et la paroi.

Cette solution offre l'avantage que la pose s'effectue à l'aide d'un seul produit.

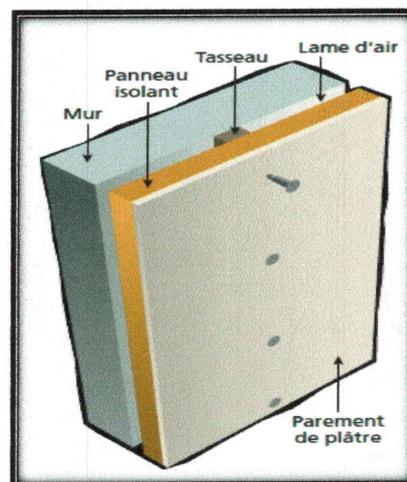


Figure 19: panneau composite

Source : www.art-dam-idf.fr

5.4 L'isolation des murs par l'extérieur

L'isolation par l'extérieur est à envisager en priorité dès que cela est possible. Elle permet de faire deux opérations en même temps : l'isolation et le ravalement. Il est toutefois nécessaire, avant d'intervenir, de régler d'éventuels problèmes d'humidité dans les murs extérieurs (remontées capillaires...).

5.4.1 Pourquoi choisir cette isolation ?

Elle permet :

- De traiter un plus grand nombre de ponts thermiques et de limiter les effets de la condensation grâce à la continuité de l'isolant au niveau des planchers intermédiaires notamment ;
- De conserver l'inertie thermique des murs.
- De ne pas modifier les surfaces habitables.
- De protéger les murs des variations climatiques.

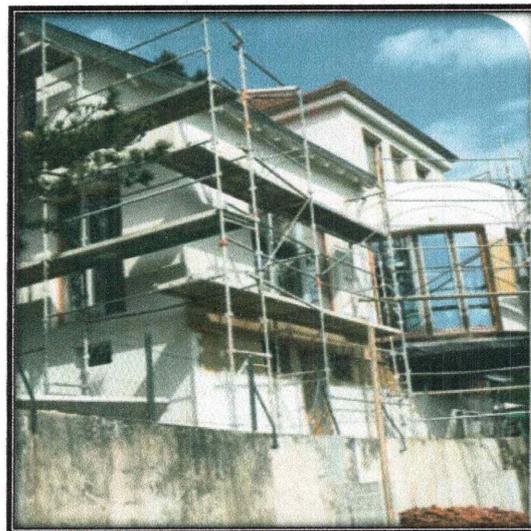


Photo 5 : Isolation par l'extérieur d'une Maison en région lyonnaise

Source : artibois.assor.fr

• Le coût de cette technique est souvent plus élevé que celui de l'isolation par l'intérieur (hors coût de ravalement). Elle nécessite de changer les seuils de fenêtre, d'intégrer les descentes de gouttières... et modifie l'aspect extérieur du bâtiment ce qui nécessite une déclaration préalable de travaux ou l'obtention d'un permis de construire.

• Il est indispensable de traiter les ponts thermiques inhérents à cette technique d'isolation, notamment les encadrements de baies, les planchers hauts, les balcons, les escaliers extérieurs, etc.²⁶

5.4.2 Les solutions techniques disponibles:

Il existe trois types de produits correspondant à trois techniques de pose différentes :

a. L'isolation par panneaux enduits

Les panneaux isolants sont fixés au mur par collage et / ou vissage. Ils sont recouverts d'un treillis collé puis d'un enduit de finition. C'est la solution la moins chère en isolation par l'extérieur.¹⁴

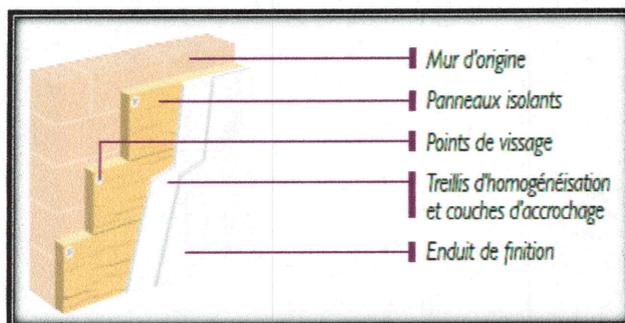


Figure 20 : Isolation par panneaux enduits

Source : www.isover.com

b. L'isolation protégée par un bardage

Des panneaux isolants sont installés sur des montants fixés au mur. Cet ensemble est protégé par un film pare-pluie ou un panneau respirant. Des tasseaux horizontaux permettent de poser un bardage extérieur tout en ménageant une lame d'air entre l'isolant et le bardage.²⁷

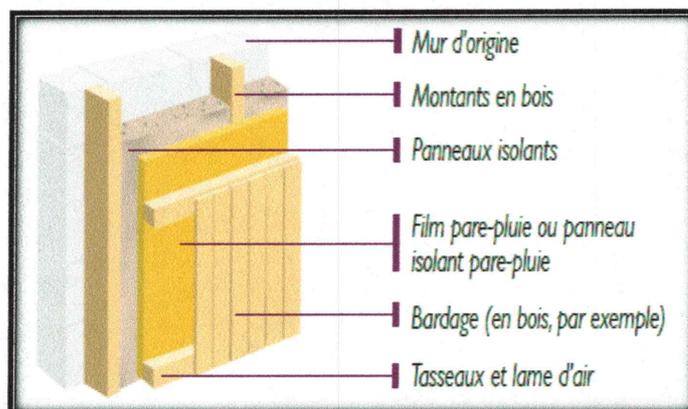


Figure 21 : Isolation protégée par un bardage

Source : www.isover.com

c. L'isolation par enduit isolant :

Le système se compose d'un enduit isolant minéral ou végétal projeté en une ou plusieurs couches ou coffré sur le mur à l'extérieur de l'habitation, et d'un crépi de finition. Les matériaux mis en œuvre doivent permettre l'évacuation de l'humidité Régulation

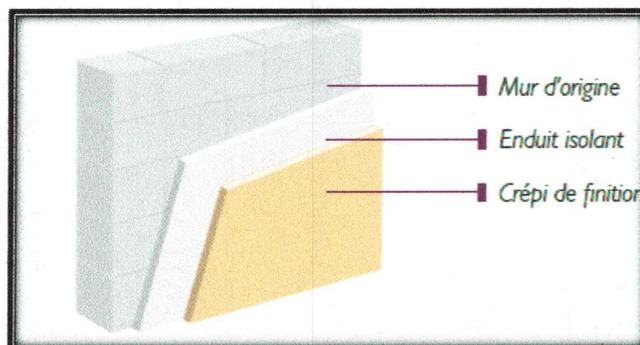


Figure 22 : Isolation par enduit isolant

Source : www.isover.com

²⁶ Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 2014, op cit, p21.

²⁷ Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 2014, op cit, p26.

Des espaces Intérieurs, perforé comme une section de roche marine. Cette résille forme un écran sur les façades et filtre le soleil sur la terrasse accessible, située en toiture, d'où une passerelle, de 78 m portée, s'élance vers le fort Saint-Jean.

3.4 Les Matériaux de construction

L'ouvrage est volontairement dénudé et livré au regard. Simple, juste nécessaire, brute, la matière est minimale, du verre et du béton, ou comme le dit l'architecte, "la peau et les os".

Ce bâtiment constitue une prouesse technique qui révolutionne la construction en béton. Grâce à l'usage d'un béton extrêmement résistant, le BFUHP (béton fibré ultra-haute performance), qui peut être travaillé avec beaucoup de souplesse.

Le béton fibré à ultra haute performance est issu de la recherche française, constitué de granulats, de Fibres métallique et de liant. Sa composition lui confère trois qualités essentielles :

- Une résistance mécanique à la compression 6 à 8 fois supérieure à celle d'un béton classique.
- Une étanchéité parfaite.
- Une faculté à épouser les moules les plus divers.



Photo 21: Panneau en BFUHP

(Source : www.bonnasabla.com)

Il contient des fibres métalliques et/ou synthétiques plus ténues que des cheveux qui lui procurent également une excellente performance en traction.

- Ce produit à "pores fermés", étanche à l'air et à l'eau - sans parler des embruns - et aux

Agressions chimiques convient aussi bien au dessin du projet qu'au contexte maritime. Il s'inscrit naturellement dans une démarche environnementale et durable, promettant une longévité de cent ans. Pour le MuCEM, le BFUHP a été utilisé pour la fine résille qui enveloppe les façades sud et ouest comme un moucharabieh, allusion aux influences méditerranéennes.⁴⁸

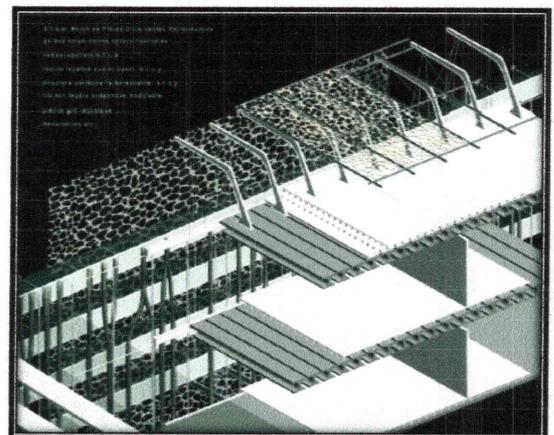


Figure 40: Principe de structure

(Source : www.fr.wikiédia.org)

⁴⁸ Maxence Naouri, Dossier de presse « VINCI, l'art des musée », juin 2013.

4. Description sommaire de la structure

4.1 Les planchers et les poutres en B.F.U.P

Ces planchers spéciaux de 22,80 m de portée des zones d'exposition et des terrasses du MUCEM sont composés d'éléments en béton fibré ultra hautes Performance préfabriqués. Ces planchers sont constitués de poutres en I précontraintes par pré-tension. Ces poutres, d'une hauteur de section de 73 cm, sont assemblées les unes aux autres par clavetage de leurs ailes supérieures.

4.2 Les poteaux arborescents en BFUP précontraints

Poteaux de forme organique dessinés par l'architecte dans lesquels s'inscrivent les poteaux structurels. Les poteaux passent devant les poutres de rives des planchers et reçoivent de ce fait des charges excentrées qui les font travailler en flexion composée flambement.

Les poteaux arborescents participent à assurer le contreventement de la structure en façades dans leur plan, en utilisant des groupes de poteaux formant des N et des V. suite à la décision de rendre le bâtiment antisismique ; les éléments de poteaux



Photo 22 : Les poteaux arborescents de façade nord et est

(Source : www.telerama.fr)

Préfabriqués ont été articulés en tête et en pied par des rotules Freyssinet traversées par la précontrainte et l'essentiel du contreventement est reporté sur le noyau central. La stabilité au feu requise pour les poteaux est de 1h30.⁴⁹

4.3 Fondations et sous-sols.

Le sol du môle J4, sur lequel est implanté le MuCEM, est constitué de remblais médiocres qui recouvrent le substratum stampien, dont le toit est en pente sensible vers la mer située

Au Sud Est.

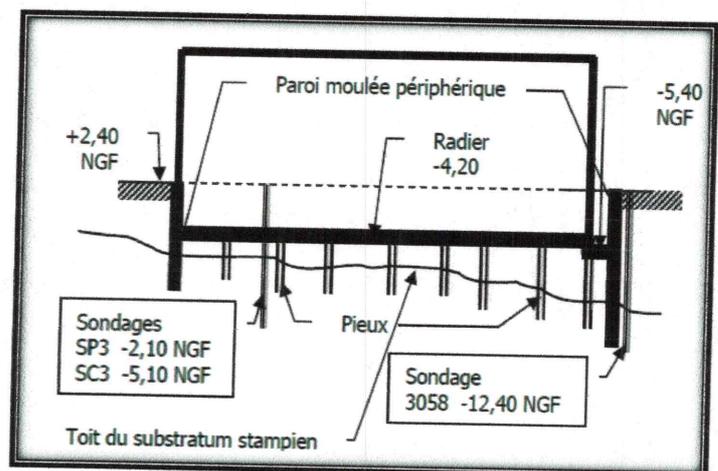


Figure 41 : Principe de fondation de MuCEM

(Source : www.fr.wikiédia.org)

⁴⁹ NICOLAS, Florence « Etude de structure d'éléments principaux du Musée des Civilisations de l'Europe et de la Méditerranée : fondations, poteaux arborescents ». Mémoire thèse, INSA de Strasbourg, (2007).

Paroi moulée périphérique et pieux avec radier porté. Membrane d'étanchéité sous radier et sur les parois avec traitement étanche de la reprise radier / parois. Doubles parois drainées et ventilées en radier et sur les parois périphériques pour capter les fuites éventuelles et éviter l'humidité dans les sous-sols à usage d'Auditorium, d'ateliers et de locaux de stockage pour les œuvres, et de locaux techniques.

L'interposition d'une épaisseur de 50cm de blocs de rétention d'eau entre le radier et la dalle basse du sous-sol permet d'incorporer des caniveaux techniques, des réseaux et des puisards, et de créer un volume de stockage d'eau conséquent en cas d'incident.

4.4 Plancher haut du sous-sol

Suivant les portées, dalles pleines avec pré-dalles possibles (non suspendues), dalles alvéolaires classiques avec table de compression, poutres BFUP accolées de grande portée sur l'Auditorium, de même section que celles des étages du musée.

4.3 Résille BFUP en façade et en toiture

Plaques ajourées ou brins entrelacés suivant dessin de l'architecte disposées devant les façades Sud est et sud-ouest et au dessus de la toiture. Éléments de dimension 6x3m² juxtaposés de façon à obtenir un dessin aléatoire.

4.3.1 Résille de façade: Autoporteuse appuyée sur les fondations de 7 cm x 8 cm Et maintenue horizontalement par des Tangons bi articulés en appui sur Les montants du mur rideau du cube Musée. Les éléments de résille sont munis de douilles filetées pré scellées qui permettent de les fixer sur des "mains" à 4 doigts par boulonnage Avec Interposition de rondelles en polyuréthanes qui ont pour rôle de rattraper les inégalités d'état de surface et de Permettre une certaine liberté de rotation Afin de ne pas induire d'efforts parasites.

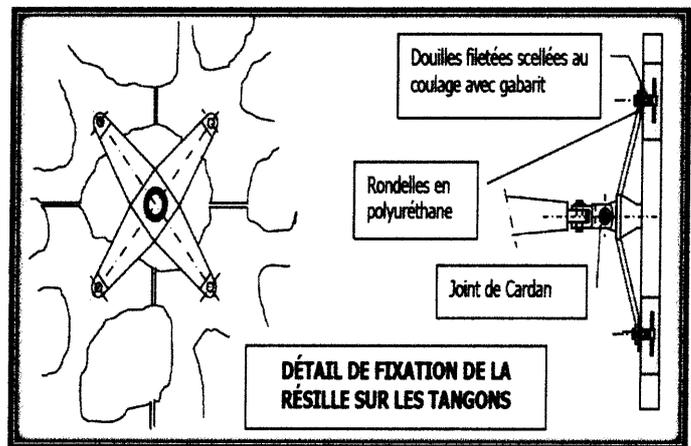


Figure 42: Détail de fixation de la résille sur les tangons

(Source : United states of paris .com.)

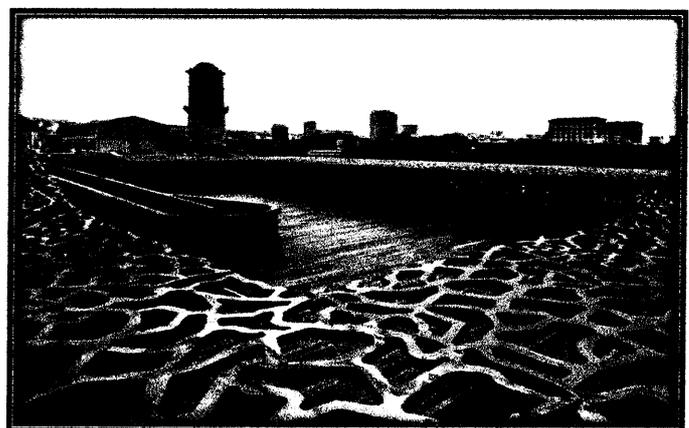


Photo 23 : MuCEM J4 et fort Saint-Jean - toit terrasse

(Source : www.jolpress.com.)

4.3.2 Résille de toiture: Supportée par une ossature métallique. La compatibilité des déformations entre les éléments de résille et la charpente est assurée par l'interposition de ressorts polyuréthanes dont la raideur est dimensionnée pour ramener les flèches différentielles à des valeurs admissibles.⁵⁰

Les panneaux de résilles de toiture sont dimensionnés pour résister à la pression du vent et de la Neige. Ils sont portés, assemblés entre eux et stabilisés par des pièces en acier inox ancrées sur la structure principale, par l'intermédiaire de ressorts pour prendre en compte les différences de déformations des matériaux. Les panneaux sont autoportants et de dimension 6 x3 mètres.

4.4 Les passerelles périphériques autour du cube du musée

Passerelles à ossature métalliques avec platelage bois, suspendues en cascade sur 4 niveaux à des potences portées à l'aide de profilés de répartition par le plancher terrasse en poutres BFUP.

Elles cheminent au sud-est et Au sud-ouest entre la façade du musée et la résille extérieur. Elles se poursuivent sur les deux autres côtés dans la fente entre le musée et les bandes de bureaux. Les passerelles sont constituées d'un platelage bois supporté longitudinalement par 3 profilés métalliques reposant sur des traverses de 3,6 m d'entraxe.

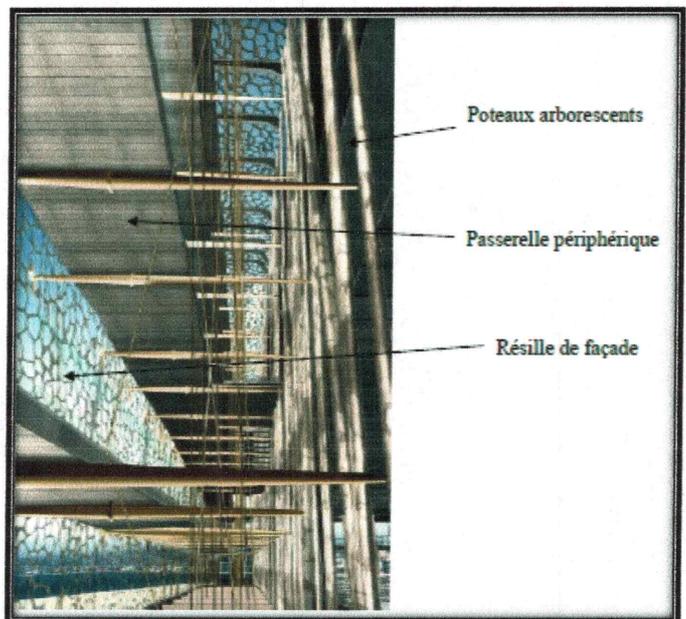


Figure 43 : Image de synthèse de quelques éléments Complexes du FDP

(Source : www.jolpress.com. Modifié par l'auteur)

Ces traverses sont suspendues par des barres Macalloy en acier inox aux suspentes métalliques du dernier niveau. Les potences d'accrochage sont des suspentes et encastrées sur le plancher B.F.U.P. de la terrasse.⁵¹

⁵⁰ www.bonnasabla.com, consulté le 05/06/2015.

⁵¹ LE GUENIC Aurélien de l'entreprise SICA, « Notes de calculs des poutres du plancher B.F.U.P., des passerelles périphériques et de la passerelle reliant le MuCEM au Fort Saint Jean ».

4.5 La passerelle reliant le musée au Fort Saint Jean

La passerelle part de l'intérieur du MuCEM et arrive en haut des remparts du fort Saint Jean. La passerelle est très élancée et de section particulièrement fine en B.F.U.P. Elle est précontrainte par post-tension. La passerelle, d'une longueur totale de 106,20 m, comporte trois travées dont les portées sont 30 11,2 m, 65 m et 30 m.



photo 24: la passerelle qui reliant le MuCEM

Au Fort Saint Jean.

(Source : www.printerest.com.)

5. L'adaptation de la FDP aux données du site

Ce bâtiment sera en permanence exposé aux forces du vent, à l'atmosphère marine rongé par le sel et aux embruns, ainsi qu'à d'importantes variations de températures tant journalières que saisonnières surtout dans les parties sud est et sud ouest, pour cela l'architecte est couvrir le MuCEM au niveau extérieur par une peau secondaire, a pour fonction de supporter les Contraintes environnementale pour s'intégrer dans

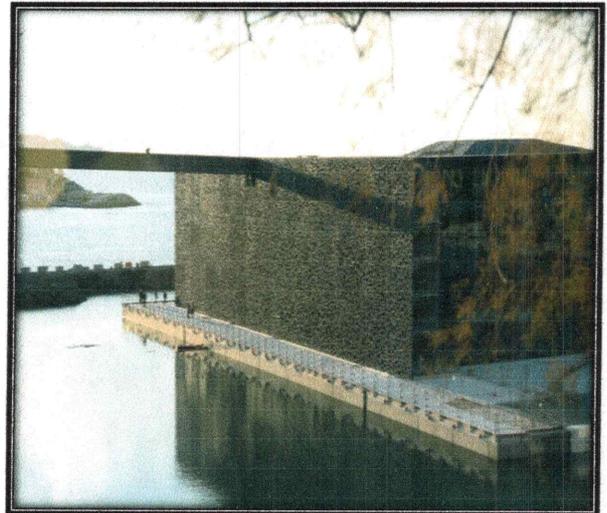


Photo 25 : Une façade double peau du MuCEM

(Source : www.office-et-culture.fr)

L'horizon méditerranéen

Cette peau de béton fibré qui le fait ressembler à « une section de roche marine », est englobe les façades Sud est et sud-ouest et au dessus de la toiture de MuCEM.

Le niveau intérieur (façade primaire) en verre délimite les différentes zones utiles et assure en règle générale la fonction d'isolation thermique. L'espace entre ces deux façades constitue une zone tampon intermédiaire formant un canal d'air entre les deux peaux qui est généralement en liaison ouverte sur plusieurs étages. Dont l'épaisseur dépassant 200cm, Cet espace, comme leur nom l'indique, ont pour objet de venir « absorber » les variations du climat pour réguler la température intérieure des espaces de MuCEM.

❖ **Les couleurs:** Les poteaux de béton porteurs de profils très différents présentent divers Tons de gris, la résille de béton qui couvre le toit et les façades est et nord est noire ce qui lui permet de contraster avec la couleur blanche de la villa méditerranéenne.

❖ **Eclairage de MuCEM**

La nuit, le MuCEM restitue la vibration méditerranéenne sous la forme d'une installation de lumière colorée. La mise en lumière imaginée par Yann Kersalé met en scène l'ensemble des façades du bâtiment, lui donnant ainsi une visibilité Maritime et terrestre, agissant comme un signal Dans la nuit.

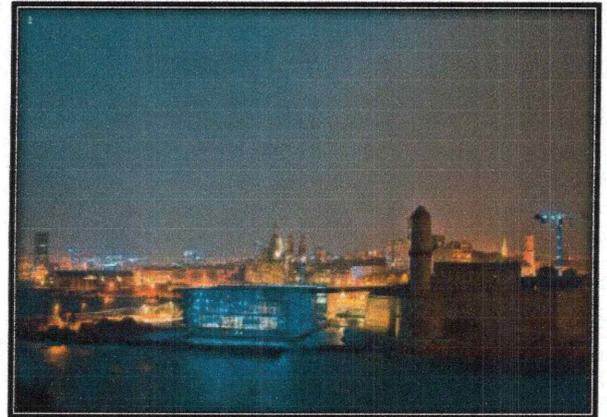


Photo 26: Le MuCEM de nuit

(Source : www.métronew.fr)

Les façades Sud et Ouest sont la matrice du projet, la lumière y joue le rôle de multiples peaux présentes dans un camaïeu de bleu et de turquoise, donnant l'impression d'un frisson aquatique. Ce projet artistique a bénéficié du 1% artistique.

6. Le MuCEM et le Développement durable

5.1 Production d'énergie

Les dispositions techniques du refroidissement de l'air par captation d'eau de mer ou la Réduction de la hauteur générale du bâtiment limitant les façades aux rayonnements solaires, obtenues par l'emploi du béton précontraint réduisant les épaisseurs de plancher ne seraient qu'invocations insuffisantes pour traduire les perspectives de ce nouveau mode de construction.

- Des le démarrage des phases études il avait été envisage de mettre en place, pour les besoins Énergétiques du MuCEM, un système de production écologique permettant une consommation d'énergie réduite.
- La proximité de la mer a permis d'envisager que la production pour le chauffage et le refroidissement des locaux puisse être traite grâce a un système de pompage / rejet d'eau de mer alimentant des équipements thermo-frigorifiques.
- Ce principe de pompes à chaleur (PAC) est un système thermodynamique qui exploite une ressource naturelle qui fonctionne entre deux sources froide et chaude. Le transfert d'énergie s'effectue de la source froide vers la source chaude, via un fluide frigorigène.

- Le changement d'état de ce fluide frigorigène (utilise en circuit ferme, donc sans risque de Pollution de l'eau de mer) qui peut être soit évapore, soit condense selon la saison permet de produire l'eau chaude ou froide nécessaire au traitement de l'air du MuCEM. l'unique incidence sur l'eau de mer est sa variation de température entre la prise et le rejet qui varie de +5 °C en été et de -5 °C en hiver.
- L'impact sur l'effet de serre des PAC est de réduire de 2,5 à 4 les émissions de CO2 nécessaires À la production d'énergie. Notre système, respectueux de l'environnement, a attire l'attention du conseil régional PACA, maitre d'ouvrage de la Villa Méditerranée, bâtiment voisin du MuCEM, qui a souhaite se raccorder a notre système.

Afin de rentabiliser au maximum les installations et d'aller le plus loin possible dans cette démarche éco-responsable, d'une simple mutualisation du pompage de l'eau de mer nous avons conjointement abouti a un pompage et un système de production commune, nécessitant une première convention répartissant les couts d'investissement et une seconde permettant l'exploitation et maintenance de l'installation pendant sa période de fonctionnement.

Le MuCEM sera monochrome et noir pour exister dans la lumière du site. Proximité de la forme Construite et vérité de la matière, recherche d'intimité, l'architecture est dessein de notre communauté, celle que l'on veut construit.

EXEMPLE02 : LE CENTRE CULTUREL TJIBAOU

Introduction

Au cours des négociations pour l'indépendance du territoire français de Nouvelle-Calédonie, à sa demande, le gouvernement du pays présidé par François Mitterrand s'est engagé à construire un centre de Nouméa pour la promotion de la culture kanak et dédié à la mémoire du leader politique Jean-Marie Tjibaou, assassiné en 1989. Dans ce travail de l'architecte Renzo Piano a réuni Des cultures du Pacifique et de la modernité

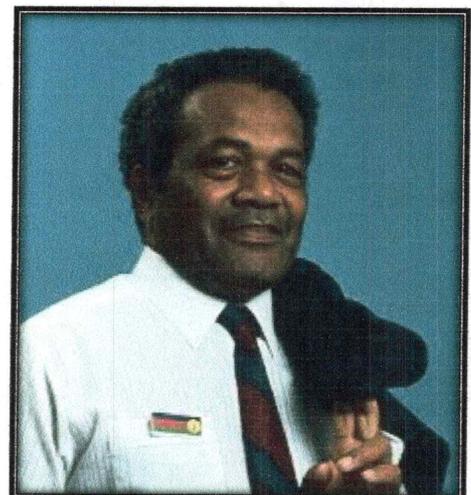


Photo 27: Jean-Marie Tjibaou

(Source : www.uniancalédonienne.com)

L'année s'est terminée le travail de ce groupe, 1998, l'architecte était à la Maison Blanche par le président des États-Unis, Bill Clinton, le prestigieux **Pritzker**, considéré comme le Nobel de l'architecture.

1. Présentation du projet

1.1 Aperçu Historique

Le Centre a été dédié à la mémoire de Jean-Marie Tjibaou, leader indépendantiste kanak assassiné en 1989. Lors des négociations pour l'indépendance, les autorités locales demandèrent et obtinrent du gouvernement français le financement d'un grand centre culturel consacré à la culture kanak. La décision de construire s'inscrit dans le cadre des Grands Travaux de la République

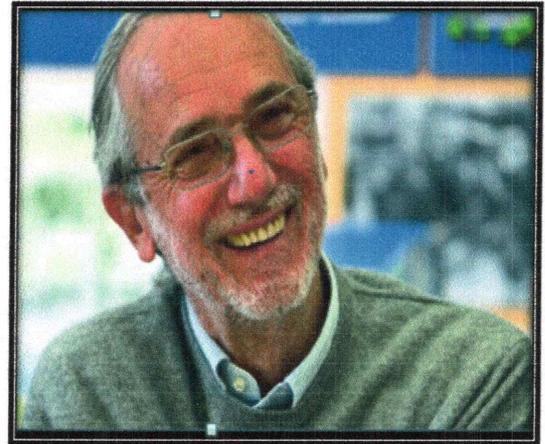


Photo 28 : L'architecte Renzo Piano

(Source : www.uniancalédonienne.com)

1.2 Fiche techniques

Le pays: la nouvelle Calédonie situé sur la presqu'île de Tina, juste à l'ouest de Nouméa

Le projet : le centre culturel Tjibaou

L'architecte : Renzo Piano

Date de début des études : 1991

Le début des travaux : mai 1995

L'achèvement : début 1998

La superficie: 6.970 m²

La technique utilisée: la double peau

Les matériaux de construction: Lamellé-collé ;

L'acier inoxydable.



photo 29 : Le site de centre culturel Tjibaou

(Source : www.floornature.eu)

1.3 Objectif de ce lieu

L'objectif de ce lieu est de diffuser la culture kanak et océanienne, traditionnelle et contemporaine, d'encourager la création artistique. Les activités du centre comprennent des expositions, des événements spéciaux, de la musique et de la danse.

1.4 Biographie de l'architecte

Renzo Piano naît, né le 14 septembre 1937 à Gênes dans une famille d'architectes (son père, son grand-père et son oncle étaient architectes). Il dirige aujourd'hui des cabinets à Paris, où il vit, à Gênes, et à New York, sous la dénomination de « Renzo Piano Building

Workshop », un groupe qui rassemble une centaine de collaborateurs, architectes, ingénieurs et spécialistes divers.

En 1990, il obtient le Prix de Kyōto, et en 1998 le Prix Pritzker d'architecture. Un spécialiste des musées: l'œuvre de Renzo Piano est d'abord consacrée aux grands équipements publics (musées, auditorium, stades, aéroport...). Il a montré dans ce domaine un perpétuel souci d'innovation tant sur le plan esthétique que technique.

2. Description du projet architectural

2.1 Situation:

Le projet est situé sur la presqu'île de Tina, juste à l'ouest de Nouméa. Un lieu spectaculaire, entre la pleine mer et la lagune protégée, avec pour toile de fond les montagnes et les promontoires qui s'avancent dans la baie de Magenta. et d'une superficie de 6.970 m², le centre culturel Tjibaou s'étend sur 8 hectares.



Figure 44: Plan de situation du Centre culturel Tjibaou.

(Source : www.wikipedia.org)

Il se compose de 3 villages qui regroupent au total 10 cases, d'une surface moyenne de 90 m² chacune et dont la plus haute culmine à 28 mètres. Les cases des trois villages qui constituent le centre culturel sont reliées entre elles par une allée courbe. Chacune des cases joue de l'air et de la transparence.⁵²

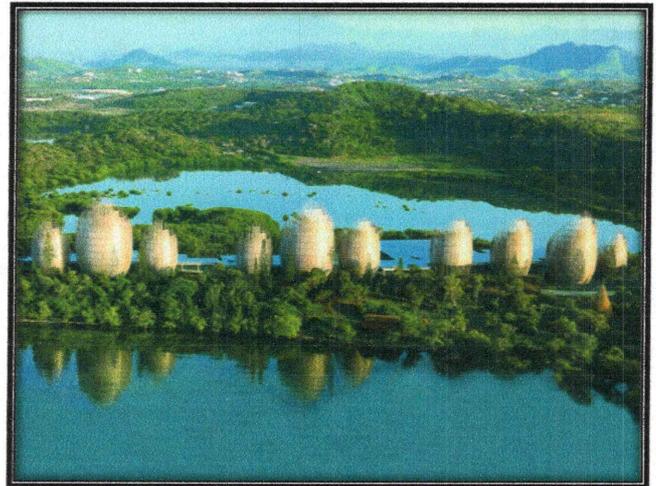


Photo 30: Vue générale sur le site de

(Source : www.hbacollege.wordpress.com)

2.2 Les caractéristiques du site

Le projet se présente dans un seul plan CCJ(Linéaire) qui est en dégradation suivant la morphologie du terrain, une circulation horizontal qui touche tous les pôles en même temps

⁵² Renzo Piano, «Centre culturel Jean-Marie Tjibaou», p8.

Qui s'aboutie jusqu'à une vue panoramique sur mer. Le concept et la conception du Centre culturel Jean-Marie Tjibaou à Nouméa en Nouvelle-Calédonie. A été générée par la nécessité de Jean-Marie Tjibaou à Nouméa en Nouvelle-Calédonie, a été générée par nécessité de maximiser la ventilation dans un climat humide. Le projet tire parti de la topographie du terrain, la végétation et la brise de la lagune de créer des courants ascendants, qui sont ensuite dissipées par des tours de décapage, avec un très distinctif, dans la partie haute du bâtiment, au-dessus de la colline. Chacune des cases est dimensionnée pour résister aux vents cycloniques (230 km/h) et aux séismes. Elles permettent d'utiliser les vents dominants en introduisant un courant d'air frais générateur de confort pour les visiteurs.

2.3 Études préliminaires de projet

Dès sa première rencontre avec les lieux, Renzo Piano s'inspire à la fois de l'architecture kanak traditionnelle et du paysage calédonien pour tracer les lignes essentielles du bâtiment. Ce dessin en coupe, explication graphique livrée lors d'une réunion de travail, fait selon les quatre principes fondamentaux du projet :

- 1) Du chemin kanak.
- 2) De l'allée et des volumes bas.
- 3) De la courbure des arcs des cases.
- 4) De la verticalité des pins colonnaires.

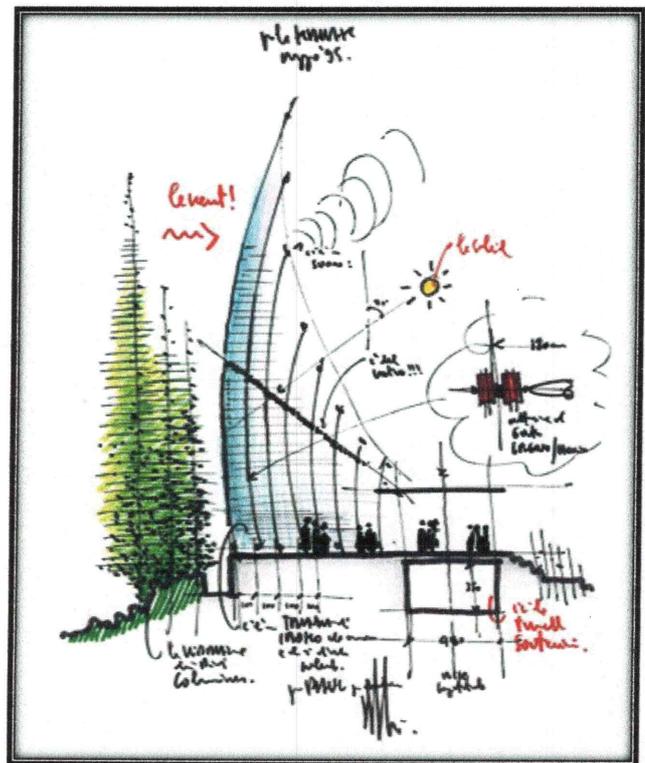


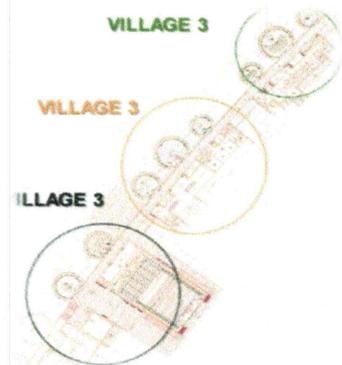
Figure 45: Croquis Renzo Piano De CCJ

(Source : www.googl.dz)

3. L'architecture du centre

D'une superficie de 6.970 m², le centre culturel Tjibaou s'étend sur 8 hectares. Il se compose de 3 villages qui regroupent au total 10 cases, d'une surface moyenne de 90 m² chacune et dont la plus haute culmine à 28 mètres.

- ❖ **Plan village 1** : accueil, exposition, cafétéria, spectacle.
- ❖ **Plan village 2** : médiathèque, exposition temporaires, et l'administration.



❖ **Plan village 3** : projection vidéo, débats, classe de culture.

Les cases conjuguent les techniques du futur comme lamellé-collé avec les matériaux traditionnels. Les cases des trois villages sont reliées entre elles par une épine dorsale qui évoque l'allée centrale spécifique à l'habitat traditionnel kanak. L'architecture du centre est très présente sur le site. Le centre culturel se confond avec la végétation originale du lieu a été enrichie de nombreuses espèces endémiques au pays.⁵³ Les dix cases se partagent en trois types :

- ❖ **Petite** : 55 m², avec 8 mètres de diamètre et 20m de haut.
- ❖ **Moyenne** : 92 m², avec 11 mètres de diamètre et 22 mètres de haut.
- ❖ **Grande** : 140 m², avec 13,5 mètres de diamètre et 28 mètres de haut.

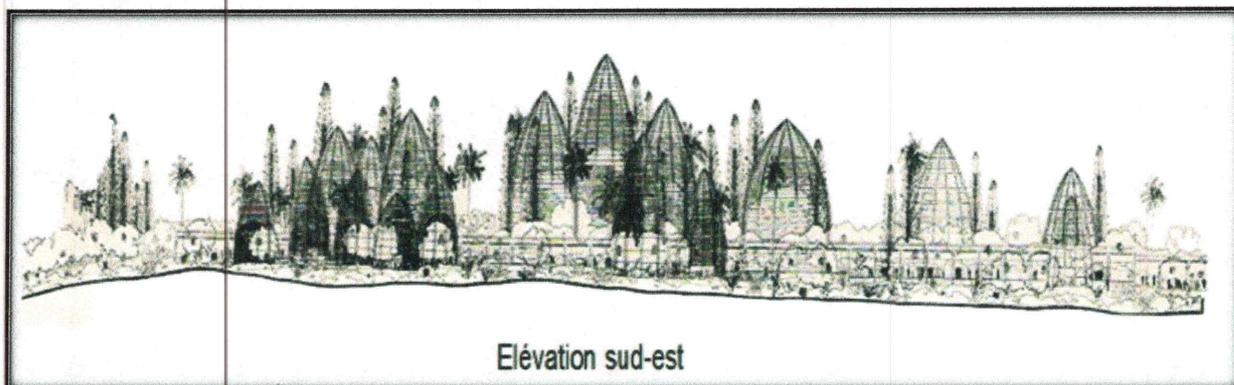


Figure 46 : Façade sud-est de centre culturel Tjibaou

(Source : www.fondazianerenzo-piano.org)

4. Les Matériaux de construction

Entre modernité et tradition l'œuvre de Renzo Piano est marquée par un profond souci d'intégration dans le contexte. Cela le conduit à adapter les formes de son bâtiment à l'environnement dans lequel il prend place aux matériaux traditionnels tels que le bois et la pierre, et des matériaux modernes tels que le verre, l'aluminium, et l'acier.

Le bois choisi est l'iroko : c'est un bois Stable, imputrescible qui résiste à l'attaque des Termites, utilisé ici sous forme de lamellé-collé.

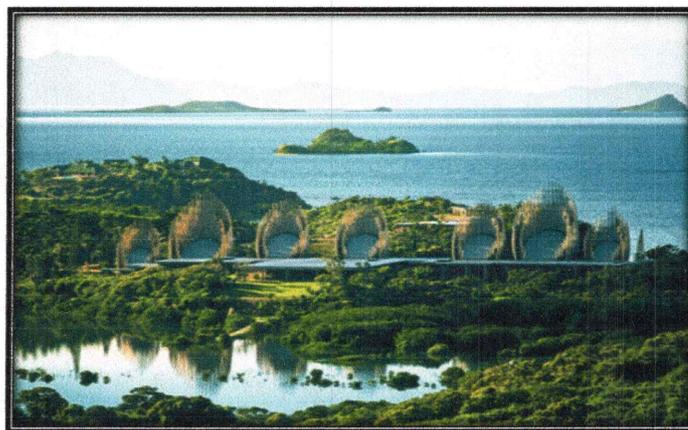


Photo 31 : Vue de haut sur le centre culturel de Tjibaou

(Source : www.vahinetahite-travelle.com)

⁵³ Renzo Piano, Building-Works.

Il exige en outre peu d'entretien, et la façon dont il a été utilisé évoque les fibres végétales tressées des constructions locales. Les cases prennent avec le temps la couleur des troncs de cocotiers qui bordent les rivages de la Nouvelle-Calédonie.

- ✓ **Lamellé-collé** : Matériau constitué de lamelles de bois collées.
- ✓ **L'acier inoxydable** : Des tubes horizontaux et barres de renforts diagonaux pour le collage structural.

5. Description sommaire de la structure

La structure et le fonctionnement des cabines ont été reproduits et adaptés suivant une architecture calédonienne, et social.

Ils ont tous créé une structure en forme de peigne iroko. Évocateur de cabanes et kanak artisanat, les nervures fines de la structure et les lattes qui sont reliés de façon transparente intégrer à la fois le paysage luxuriant et la culture de ses habitants.⁵⁴

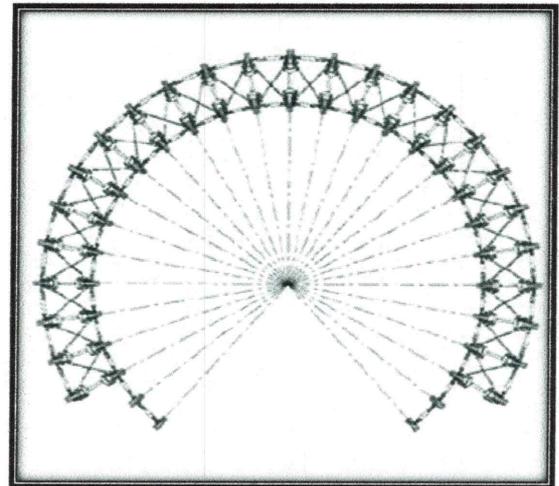


Photo 47 : Structure à double couche

(Source : www.fondazianerenzo piano.org)

Bien que dans les temps anciens ce sont aussi des lattes de bois, cette fois, le collage structural a été réalisé avec des tubes horizontaux et barres de renforts Diagonaux en acier inoxydable.

Ces structures font penser à des éléments traditionnels tels que les entretoises de structure à chevrons pour éviter le flambage des poutres longues.

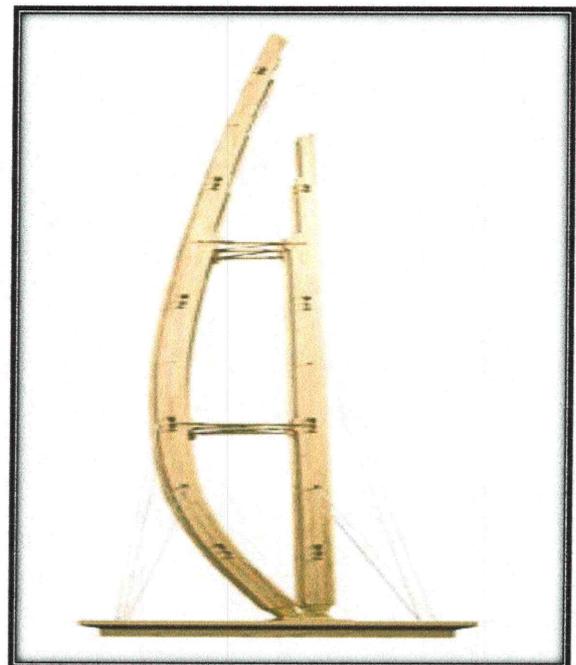


Figure 48 : Lattes de bois

(Source : www.pinterest.com)

⁵⁴ Renzo Piano, «Centre culturel Jean-Marie Tjibaou», p10.

Renzo Piano les décrit en disant qu'ils sont des structures courbes comme des cabines, construit avec des côtes et les poutres sont archaïques prospectifs conteneurs, dont les intérieurs sont équipés de toutes les possibilités offertes par la technologie moderne.

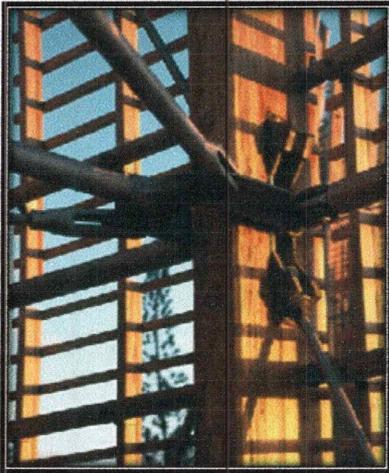


Photo 32 : Tubes structurels
En acier inoxydable
(Source : www.pinteres.com)



Photo 33 : Fixation des lattes
En acier inoxydable
(Source : www.pinteres.com)

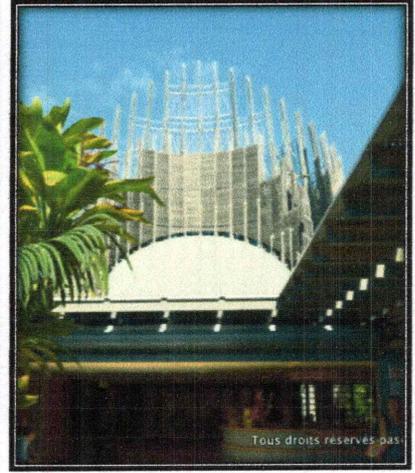


Photo 34: Vue sur le toit
d'une case
(Source : www.leboi.com)

6- Traitement de la lumière

-Le vitrage : Le toit et les surfaces latérales sont transparentes.

-Des espaces communicants variés : Les divers espaces du centre sont de natures très différentes : ainsi lorsqu'on sort de la rue intérieure pour se rendre dans l'une des cases (allée courbe), on passe d'un espace confiné et intime, à un espace expansé et inattendu.

-La relation avec l'espace extérieur : les liteaux de la couche extérieure des cases sont de largeurs différentes et espacées de manière inégale : cela crée un effet optique de légère vibration qui favorise l'harmonie entre l'intérieur et la végétation.

7. L'adaptation de la FDP aux données du site

La double coque : les cases ont été équipées d'un système de ventilation naturelle très efficace, en tirant parti des caractéristiques du climat de la Nouvelle-Calédonie. Avec la double façade (double coque) l'air circule librement entre deux couches de bois lamellé-collé.

L'orientation des ouvertures pratiquées dans la coque externe a été étudiée pour tirer parti des alizés (vents) provenant de la mer, ou pour induire les courants de convection souhaités.

Les débits d'air sont régulés par des vantelles vitrées (lamelle mobile d'un appareil de ventilation).

Dans des conditions de brise légère, ces dernières s'ouvrent pour favoriser la ventilation, et se ferment lorsque le vent monte, à commencer par celles qui sont situées plus bas.

La solution a été conçue avec l'assistance de l'ordinateur, et testée en soufflerie grâce à des maquettes à l'échelle. Ce système de circulation de l'air prête aussi sa « voix » aux cases. Et tout ensemble, elles produisent un son particulier qui est celui des villages kanak.

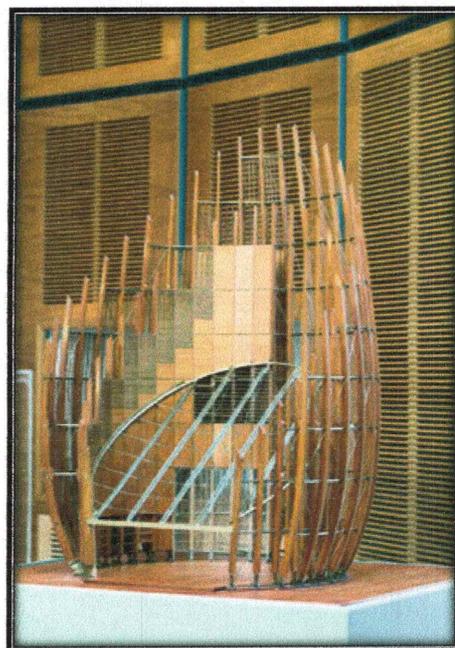


Photo 35 : Maquette d'étude de CCJ

(Source : www.pinteres.com)

8. La prise en compte de l'environnement

« J'ai compris que l'un des caractères fondamentaux de l'architecture kanak est le chantier : le faire est aussi important que le fini. J'ai pensé, dès lors, développer l'idée de chantier permanent, ou plutôt d'un lieu ayant l'apparence d'un chantier non fini ». Renzo Piano, Carnet de travail.

L'architecture du centre culturel Tjibaou est le fruit d'une étroite collaboration entre Renzo Piano et l'Agence de Développement de la Culture Kanak. Entre modernité et tradition l'œuvre de Renzo Piano est marquée par un profond souci d'intégration dans le contexte. Cela le conduit à adapter les formes de son bâtiment à l'environnement dans lequel il prend place. En partant d'un lien profond avec la nature, typique de cette civilisation, le projet a suivi deux grandes lignes directrices : d'une part, il fallait évoquer la capacité de construire des kanaks, et de l'autre, utiliser, parallèlement aux matériaux traditionnels tels que le bois et la pierre, des matériaux modernes tels que le verre, l'aluminium, l'acier et des technologies légères d'avant-garde.

La végétation du site a été respectée et même enrichie de nombreuses espèces présentes naturellement à la Nouvelle-Calédonie. Des pins colonnaires, qui peuvent atteindre 50 m de haut, ont été transplantés et un chemin kanak composé de nombreuses essences s'étire tout au long de l'édifice. Son but est d'initier le visiteur à la symbolique du végétal dans la société kanak.

Les « cases » inspirées de l'architecture kanak traditionnelle sont de hauteurs et de surfaces différentes et donnent un aspect inachevé qui rappelle que la culture kanak est toujours en devenir.

Végétal au cœur d'une architecture contemporaine. Pour l'homme kanak, étroitement lié à son environnement naturel, la terre et les plantes rythment le cours de la vie. Ainsi, dès la genèse du projet, l'architecte Renzo Piano décide de créer une harmonie-en accord symbiose entre une architecture contemporaine et l'environnement naturel de la presqu'île de Tina.



Photo 36 : Vue panoramique de centre culturel dans sans contexte naturelle

(Source : www.inhabitat.com)

9. Synthèse critiques des exemples

Ces projets présentent un exemple concret où les architectes ont su trouver un compromis entre les exigences techniques et l'esthétique de la façade double peau, pour bien améliorer le confort à l'intérieur des constructions. Les principaux points qui peuvent être conclus sont :

- ❖ Situation dans une zone attractive et l'implantation dans un endroit stratégique.
- ❖ Le site doit être proportionnel au contenu de projet.
- ❖ L'utilisation de nouvelle technique et matériaux innovante tel que le béton fibré ultra-haute performance une étanchéité parfaite à l'air et à l'eau.

- ❖ L'aspect esthétique de la façade extérieure, Image high-tech, abstraction de la façade avec l'absence des repères conventionnels.
- ❖ La prise en compte de l'environnement.
- ❖ L'intégration dans le contexte et l'adaptation de la FDP selon les conditions climatique du site.
- ❖ L'alliance entre les valeurs esthétiques (importance des éléments immatériels comme la lumière ou la transparence, allusion à la nature dans les formes) aux valeurs des hommes.
- ❖ L'amélioration du confort d'été dans les bâtiments par diminution de la température de surface des vitrages de la peau intérieure
- ❖ La construction de la FDP à travers la combinaison entre les matériaux traditionnels tels que le bois et la pierre et leurs performances thermiques, et des matériaux modernes tels que le verre, l'aluminium, l'acier.
- ❖ Refroidissement de l'air par Réduction de la hauteur générale du bâtiment, limitant les façades aux rayonnements solaires.
- ❖ Amélioration de la ventilation naturelle dans la FDP grâce à l'effet de tirage thermique.
- ❖ La proximité de la mer a permis d'envisager que la production pour le chauffage et le Refroidissement des locaux puisse être traite grâce a un système de pompage d'eau de mer. Un
Système de production écologique permettant une consommation d'énergie réduite.
- ❖ Augmentation du confort visuel à travers l'effet de la FDP. le verre pour assurer la transparence, la luminosité.
- ❖ la façade double peau a pour fonction la régulation thermique du bâtiment. Elle le protège des contraintes météorologiques. Par rapport aux rayonnements directs du soleil, elle évite les surchauffes d'été et limite le recours à la climatisation;
- ❖ Concevoir des bâtiments avec ce type de façade garantit des économies d'énergie et contribue à la limitation des émissions des gaz à effet de serre. soit parce qu'ils protègent du froid et du vent, soit parce qu'ils stockent de la chaleur comme les serres solaires passives.
- ❖ L'amélioration des performances acoustiques sous condition de perméabilité de la paroi extérieure.

10. Tableau Comparatif

	Les données du (M.U.C.E.M) à Marseille ⁵⁵	Les données du Centre Culturel Tjibaou la nouvel Calédonie ⁵⁶	Les données de la région de Jijel ⁵⁷
<u>Situation géographique</u>	 <p>Ce musée se situe sur un site particulièrement agressif. En effet, le musée se trouve au niveau du port de Marseille, sur le môle J4, juste à côté du Fort Saint Jean.</p>	 <p>Le projet est situé sur la presqu'île de Tina, juste à l'ouest de Nouméa.</p>	 <p>Jijel est une ville côtière située au Nord-est du pays à environ 314 km à l'Est d'Alger, à 99 km à l'Est de Bejaia et à 135 km au nord de Sétif. Elle est adossée au massif montagneux de la petite Kabylie et limitée au Nord par la mer Méditerranée .</p>
<u>Le climat</u>	Typiquement méditerranéen.	Typiquement tropical, Avec une période chaude et humide de novembre à mars et une période fraîche et plus sèche de juin à aoute reliée par deux courtes période de transition.	Le climat est de type Méditerranéen se caractérisant par deux saisons : Un hiver doux et pluvieux et un été chaud et sec. La saison pluvieuse s'étend du mois d'Octobre au mois de Mars, et la saison sèche commence à partir du mois d'Avril et se termine au mois de Septembre.
<u>Température</u>	TAM : 16.5 C° TM.MAX :30 C° TM.MIN :3 C°	TAM : 23 C° TM.MAX : 39.1 C° TM.MIN : 2.3 C°	TAM : 18.5 C° TM.MAX : 37 C° TM.MIN : 2 C°

⁵⁵ Meteo-Marseille.Com, consulté le 1juin 2015.

⁵⁶ Données météorologiques moyennes pour la Nouvelle-Calédonie, données par meteo.msn.com , consulté le 31 mai 2015.

⁵⁷ Données climatiques mensuelles relevées à la station météorologique de Jijel (1999-2008), altitude 8 m, latitude 36°48', longitude 5° E, Station météorologique de Jijel.

Naturelle de l'hygrométrie, surtout dans le bâti ancien.²⁸

d. S'occuper aussi des balcons

La liaison de la dalle en béton du balcon et du mur génère un pont thermique important. Lors d'une isolation par l'extérieur, cette dalle vient interrompre l'isolant, ce qui ne permet pas de traiter le pont thermique. Pour minimiser cette difficulté, deux techniques peuvent être utilisées : La désolidarisation partielle du balcon au mur. La dalle est coupée partiellement, le balcon reste porté par des accroches ponctuelles. Un isolant est placé entre la dalle coupée et le mur.²⁹

5.5 L'isolation des parois vitrées :

La performance thermique d'une paroi vitrée dépend de la nature de la menuiserie, des performances du vitrage et de la qualité de la mise en œuvre de la fenêtre. La nature des fermetures (volets, persiennes) inter vient également. En effet, elles peuvent réduire les déperditions, particulièrement la nuit car elles apportent une résistance thermique additionnelle à la paroi vitrée. Les protections extérieures sont aussi très efficaces pour limiter la température intérieure en été.

Pour une bonne performance énergétique, il est conseillé de choisir des fenêtres avec un U_w qui correspond aux exigences du crédit d'impôt développement durable et des fermetures avec une résistance thermique additionnelle (volet + lame d'air entre le volet et la fenêtre) supérieure à $0,22 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.³⁰

5.5.1 La qualité de la fenêtre

Compte tenu de sa surface, le vitrage influence sensiblement la qualité thermique d'une fenêtre.

❖ Le double vitrage classique

Il est constitué de deux verres emprisonnant une lame d'air. Il est plus performant que le simple vitrage :

- Il réduit l'effet de paroi froide.
- Il diminue les condensations et les déperditions thermiques à travers les fenêtres¹⁹.

❖ Le double vitrage à isolation renforcée (VIR) et lame d'argon

Il constitue la nouvelle génération de doubles vitrages. La lame entre les deux vitrages est remplie d'argon et une fine couche transparente peu émissive (généralement à base d'argent) est déposée sur une des faces du verre (côté lame d'air).

²⁸ Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 2014, op cit, p27.

²⁹ Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 2014, op cit, p28.

³⁰ Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 2014, op cit, p29.

Cette couche agit comme un bouclier invisible pour empêcher en hiver la chaleur intérieure de fuir à l'extérieur. Le double vitrage à isolation renforcée (VIR) a un pouvoir isolant deux à trois fois supérieur à celui d'un double vitrage ordinaire, et plus de quatre fois supérieur à celui d'un simple vitrage.³¹

❖ Double vitrage à isolation renforcée

Le double vitrage peut permettre des économies de chauffage de l'ordre de 10 % et améliore fortement les conditions de confort en faisant disparaître l'effet de paroi froide. Associé à un système de gestion des apports solaires (occultation extérieure),

Il contribue à limiter les effets de surchauffe en été.

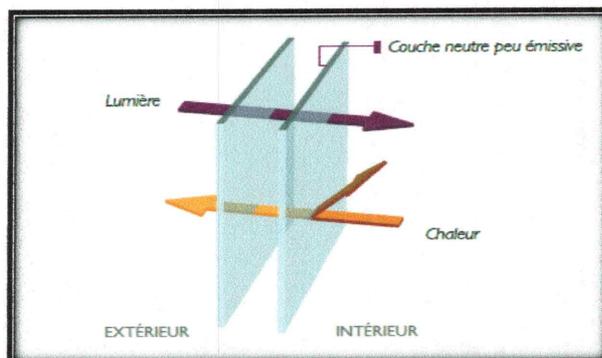


Figure 23 : double vitrage à isolation renforcée

Source : www.isover.com

❖ Le triple vitrage

Il est constitué de trois verres emprisonnant deux lames d'argon (ou de krypton) entre eux et disposant de deux couches faiblement émissives déposées côté interne des lames d'air.

Le coefficient de transmission thermique est excellent, de l'ordre de 0,6 à 0,8 W / m².K (contre 1,1 à 1,2 environ pour les VIR). En revanche, le facteur solaire est modifié et le coefficient de transmission lumineuse peut être moins bon que celui d'un double vitrage.³²

5.5.2 La qualité de la menuiserie

Les menuiseries modernes sont toutes munies de joints d'étanchéité qui leur confèrent une parfaite étanchéité à l'air et à l'eau. Une ventilation efficace du logement est impérative. Des solutions performantes existent en menuiseries bois, PVC, et aluminium à rupture de pont thermique.

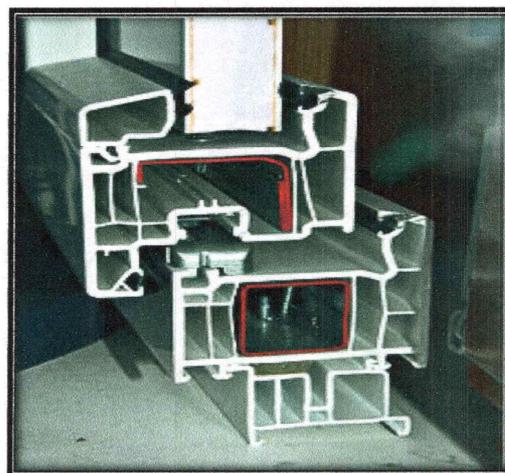


Photo 6 : Coupe d'un cadre de Fenêtre en PVC

Source : www.isover.com.

³¹ Dossiers techniques de Agence locale de l'énergie de l'agglomération lyonnaise, « L'isolation Thermique Par L'extérieur », 2009.

³² Jean-Marie HAUGLUSTAINE, Francy SIMON, « L'isolation thermique des façades verticales » Guide pratique pour les architectes, Université de Liège Ministère de la Région Wallonne, Université Catholique de Louvain, Février 2006.

L'aluminium sans rupture de pont thermique est à proscrire en raison de la forte conductivité thermique de ce matériau (source de déperditions thermiques et d'inconfort).

Afin d'apporter toutes garanties à l'utilisateur, et de ne pas provoquer de désordres dans la maçonnerie, il est conseillé de faire appel à une entreprise qualifiée.³³

5.5.3 Techniques d'isolation d'une paroi vitrée :

❖ Le survitrage

Il consiste à poser sur la fenêtre existante une vitre rapportée à l'aide de profilés spécifiques. Il convient alors de renforcer l'étanchéité de la fenêtre à l'aide de joints appropriés. Trois types de systèmes existent : ouvrants, démontable et fixes.

Avantage : c'est une solution peu onéreuse mais d'une efficacité relative.³⁴

❖ Le remplacement des ouvrants

Il doit être réalisé par des professionnels avertis, car il nécessite un véritable savoir-faire afin d'éviter tous dégâts occasionnés par des défauts d'étanchéité. La technique consiste à remplacer les ouvrants des fenêtres existantes par des ouvrants en PVC, aluminium, ou bois, équipés d'un vitrage thermiquement et acoustiquement performant. Elle ne peut être mise en œuvre que sur des dormants (partie fixe restant en place dans ce cas) en bon état. Il n'y a donc pas ou peu de maçonnerie à effectuer et les travaux s'accompagnent d'une garantie de résultats. De plus, cette solution s'avère à terme plus économique que le survitrage.

❖ Le remplacement des fenêtres

Le remplacement de la fenêtre est la solution à retenir dans tous les cas où la fenêtre existante est en mauvais état. Certaines sociétés proposent un catalogue important de fenêtres dites de rénovation, aux cotes des modèles anciens.



³³ Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, guide pratique, « L'isolation thermique : les maisons individuelles gagnent en confort », Paris, Ed Avril 2001, p26.

³⁴ Jean-Yves Charbonneau, Direction de la prévention-inspection, « Confort thermique à l'intérieur d'un établissement », Québec, mars 2004, p125.

CONCLUSION

Le développement de l'habitat, l'étalement urbain et l'explosion des besoins énergétiques individuels ont placé l'homme devant l'impératif de préservation de la planète, de ses ressources, de son climat. Le secteur du bâtiment est sur la voie d'une mutation progressive. ISOVER assume pleinement sa responsabilité face à ces enjeux et innove chaque jour pour offrir des solutions performantes et relever ces défis majeurs.

En résumé... L'isolation thermique est un moyen efficace pour diminuer la facture de chauffage et accroître le confort des constructions. Il existe des produits d'isolation adaptés à chaque situation : pour les murs, les planchers ou les plafonds, pour les fenêtres, pour l'intérieur ou l'extérieur. Des solutions techniques diversifiées permettent de traiter chaque cas avec efficacité.

Chapitre 3



*La façade
double peau*

Introduction

Les façades doubles peau sont des éléments de plus en plus prisés dans les bâtiments modernes et les rénovations. Composées de deux parois séparées par une lame d'air ventilée d'au moins 20 cm, elles présentent des caractéristiques intéressantes notamment en termes d'isolement acoustique, de confort thermique ou de gain énergétique.

Dans l'optique d'atteindre des objectifs de diminution des consommations énergétiques de plus en plus exigeants, il est indispensable d'optimiser le fonctionnement de ces façades. Les enjeux des façades double peau se situent d'une part sur le plan de la thermique d'hiver afin d'utiliser au maximum l'énergie solaire et d'autre part sur le plan de la thermique d'été en limitant les surchauffes.

1. Définition

La façade double peau est une paroi extérieure à plusieurs couches composée de deux niveaux de façade. Le niveau extérieur (*façade secondaire*) a pour fonction de supporter les Contraintes environnementales. Le niveau intérieur (*façade primaire*) délimite les différentes zones utiles et assure en règle générale la fonction d'isolation thermique. L'espace entre ces deux façades constitue une zone climatique intermédiaire qui est généralement en liaison ouverte sur plusieurs étages.³⁵



Photo 7: Double façade ventilée de la médiathèque de Mont de Marsan¹

(Source : www.durable198.rssing.com)

³⁵ Vereinigung Kantonalen, « Bâtiments à façades double-peau », Note Explicative De protection incendie, 01 janvier.2015 /102-15/ Fr.

Les fenêtres de la façade primaire sont en contact avec la zone climatique intermédiaire. Lorsque les fenêtres sont ouvertes, une circulation d'air a lieu entre l'espace intérieur et la zone climatique intermédiaire.

2. Les composants de la façade de type double-peau

La façade de type double-peau est constituée d'une peau intérieure et d'une autre extérieure. Ces deux peaux créent un canal.

2.1 La peau extérieure

Un écran en contact avec l'extérieur (mur végétalisé, paroi vitrée, assemble métallique, lamelle de bois).

2.2 La peau intérieure

Généralement c'est la façade du bâtiment.

2.3 Un espace tampon

Formant un canal d'air entre les deux peaux de la façade, l'épaisseur de ce canal est différente d'une façade à une autre. Cette dernière varie entre 10cm et 2m pour le cas des atriums ; la hauteur minimale des canaux est d'un étage et peut s'étendre sur plusieurs étages. Le canal de la façade de type double peau est généralement ventilé à l'aide d'un système mécanique ou naturelle. Également une ventilation hybride ou mixte est souvent utilisée pour le cas des grands bâtiments.³⁶

Une façade double peau est assimilable aux espaces tampons habituellement utilisés dans la conception bioclimatique. Ces espaces, comme leur nom l'indique, ont pour objet de venir « absorber » les variations du climat pour réguler la température intérieure des espaces.

Ils permettent ainsi au bâtiment d'économiser l'énergie, soit parce qu'ils protègent du froid et du vent, soit parce qu'ils stockent de la chaleur comme les serres solaires passives.

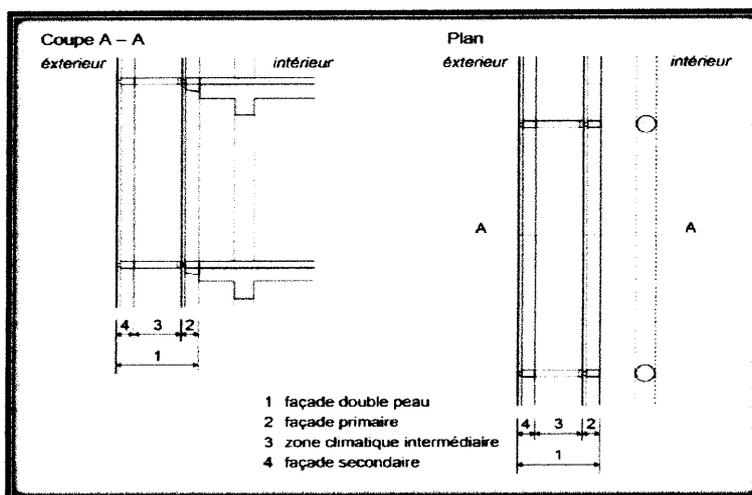


Figure 27: les composants d'une façade double peau

(Source : www.marnelavalle.archi.fr)

³⁶ Nassim SAFER, « Modélisation des façades de types double-peau équipé de protection solaires : Approches multi-échelles », Thèse de doctorat en génie civil, soutenue le 13/06/2006, Institut National Des Sciences Appliquées De Lyon, p29.

2.3.1 Epaisseur du canal de la façade : Trois catégories peuvent être proposées :

Les canaux dont l'épaisseur varie entre 5cm et 50cm. Cette plage d'épaisseur est la plus utilisée.

- ❖ Les canaux dont l'épaisseur varie entre 50cm et 200cm. Cette plage d'épaisseur rend les canaux des façades accessibles.
- ❖ Les canaux dont l'épaisseur dépassant 200cm. C'est le cas des grands atriums et les grandes espaces intérieurs.

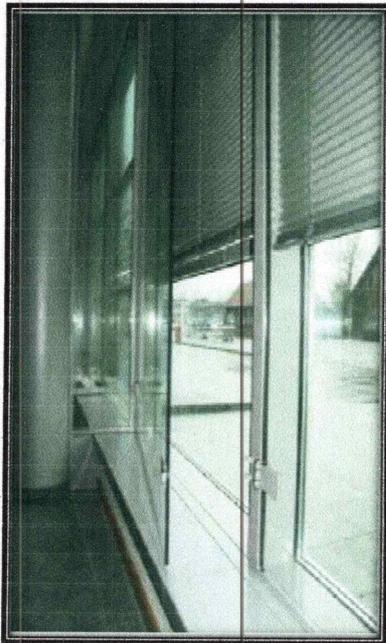


Photo 8: Un canal de 50cm à 200cm

(Source : www.localdesign.com)

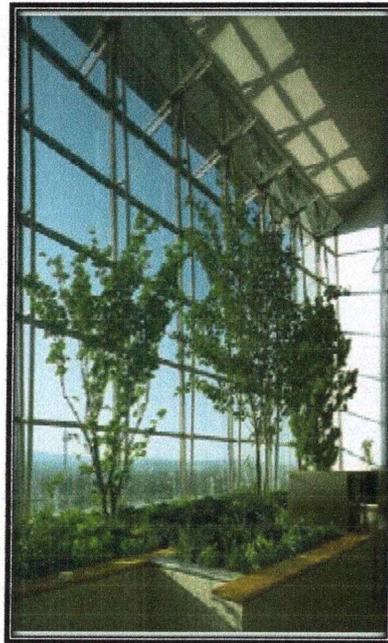


Photo 9: Un canal accessible dépassé 200cm (grand atrium)

(Source : www.localdesign.com)

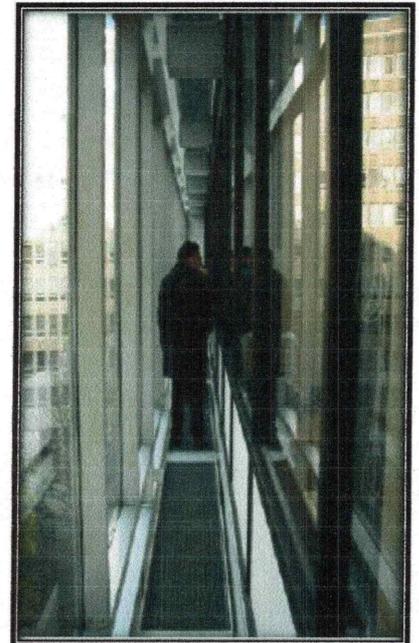


Photo 10: Un canal accessible de 200cm

(Source : www.localdesign.com)

2.3.2 Type du canal : Le type du canal est important pour le bon fonctionnement des façades puisque son impact sur le comportement thermo-aéraulique est important, le choix du canal influence notamment la sensation de confort thermique à l'intérieur des locaux, enfin ce choix doit tenir compte de la sécurité incendie.³⁷ Il existe trois grandes catégories distinctes sur un fractionnement horizontal et/ou vertical du canal de façade :

³⁷ Nassim SAFER, Thèse de doctorat en génie civil « Modélisation des façades de types double-peau équipé de protection solaires : Approches multi-échelles », soutenue le 13/06/2006, Institut National Des Sciences Appliquées De Lyon, p33.

- ❖ *Les canaux fractionnés horizontalement* : Dans ce cas, la façade de type double peau s'étend seulement sur un seul niveau (étage), ce type de canal est très répandu dans les bâtiments de très grande hauteur.
- ❖ *Les canaux non fractionnés horizontalement* : Dans ce cas, la façade de type double peau est continue sur plusieurs étages. ce type de canal est très utilisé dans le cas des bâtiments moyens de 3 à 5 étages
- ❖ *Les canaux fractionnés horizontalement et verticalement* : Ce type ressemble plus à des fenêtres double peau leur gestion est plutôt individualisée et permet de prendre en compte le confort individuel et la sensation personnelle des occupants.

2.4 Une protection solaire :

Ces façades sont dotées d'une protection solaire. La protection solaire remplit deux objectifs bien distincts limiter les apports solaires d'une part et réguler le flux lumineux d'autre part.

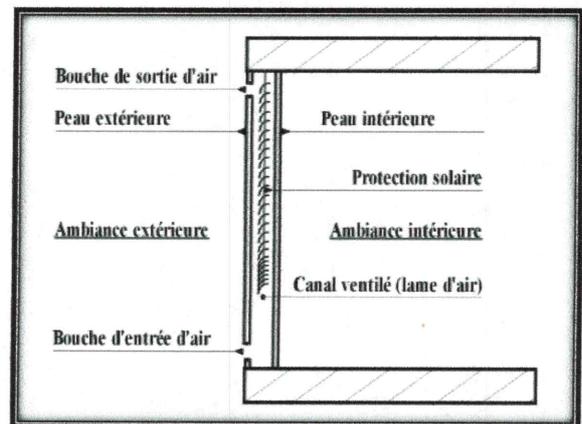


Figure 28: façade double peau et ces différents Composants

(Source : www.lemoniteur.fr)

2.4.1 Les différents types de protection solaire

Plusieurs types de protection solaires sont possibles, les stores vénitiens sont parmi les plus répandus.

- ❖ *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 tissu est possible : en polyester, en fibre de verre, en screen ou tissu aluminisé et En PVC.³⁸

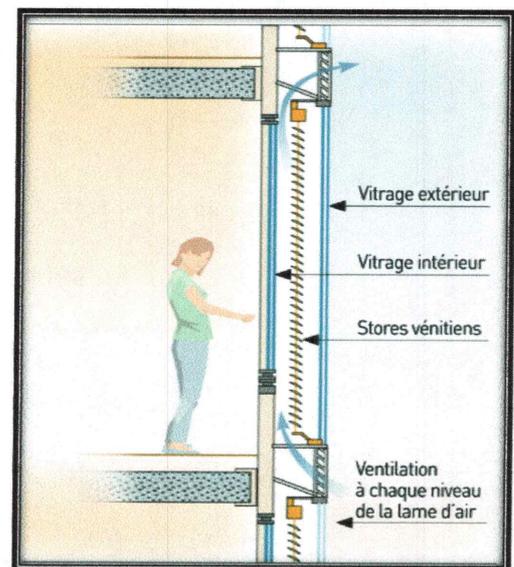


Figure29 : l'emplacement d'un store vénitien dans une FDP

(Source : www.enerzine.com)

³⁸ [http://fr.ekopedia.org/Fa%C3%A7ade « façade double peau »](http://fr.ekopedia.org/Fa%C3%A7ade%20double%20peau) consulté le (6 avril 2015).

- ❖ **Stores à lamelles** : les stores à lamelles sont réalisés avec des lamelles flexibles en aluminium laqué disponible en différentes largeurs : 16mm, 25mm, ou 50mm.
- ❖ **Stores à rouleau ou screen** : placé sur la façade intérieur ou extérieur, est un élément régulateur qui permet de jouer avec la lumière et l'ombre. Caractérisé par plusieurs tissus et couleurs.

2.4.2 Les différentes positions des protections solaires

Les protections solaire peuvent stopper 80 à 85°/° de l'énergie incidente. De ce fait leur choix et leur position sont importants.

-Les protections solaire placées du côté extérieur de la façade notamment en façade sud et ouest, diminuent les surchauffes dans le canal en période estivale.

-Les protections solaires placées à l'intérieur du canal de la façade présent l'inconvénient majeur de l'évacuation des apports solaire 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 estivale tandis qu'il est récupéré pour le préchauffage des locaux en période hivernale.

-Les protections solaire sont positionnées dans la plupart des cas du côté intérieur du canal de la façade double peau.³⁹

3. Les principaux types de FDP

3.1 Les façades ventilées

Aussi appelées « Doubles Façades Ventilées », elles sont composées de deux façades parallèles généralement vitrées et séparées par une cavité de quelques centimètres à plusieurs mètres dans certains cas.

3.2. Les objectifs des façades ventilées

Les principales finalités de ces types de façades sont :

- la création d'une ventilation naturelle
- le préchauffage de l'air introduit dans le bâtiment.

³⁹ Nassim SAFER, Thèse de doctorat en génie civil « *Modélisation des façades de types double-peau équipé de protection solaires : Approches multi-échelles* », soutenue le 13/06/2006, Institut National Des Sciences Appliquées De Lyon, p34.

- 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 en été : la FDP joue un rôle de protection solaire.
- l'isolation thermique : pour la rénovation d'un bâtiment, l'application d'une façade vitrée en complément de la paroi opaque traditionnelle peut être une solution pour diminuer les ponts thermiques.

3.3. 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.

3.3.1 Les types de ventilation

❖ La ventilation naturelle:

La circulation de l'air au sein des parois est réalisée grâce au phénomène de tirage thermique.⁴⁰, 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. Cette différence de densité crée un mouvement d'air à l'intérieur du canal de la façade

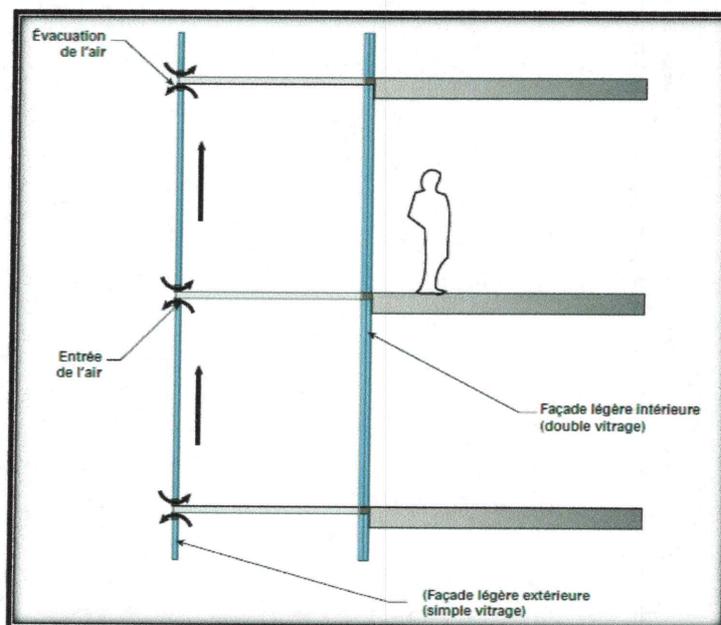


figure 30 : Principe de fonctionnement d'une façade double

Double peau.

Peau ventilée naturellement sur un niveau.

(Source : www.durable198.ressing.com)

❖ La ventilation forcée (mécanique)

La circulation d'air est créée artificiellement par des extracteurs d'air (ventilateurs). Les écoulements d'air dans le canal dépendent également des entrées et des sorties d'air (leur dimensions et position). Aussi, les propriétés thermodynamiques de l'air et de profil des écoulements à l'intérieure du canal doit être pris en compte pour éviter les problèmes de condensation au niveau de vitrage.

⁴⁰ Le tirage thermique ou effet cheminée: est un phénomène lié à la montée de l'air chaud plus léger que l'air froid, appliqué à une DFV, exprime le fait que l'air de cavité plus chaud que l'air extérieur a tendance à s'évacuer au sommet de celle-ci.

De la même manière, les protections solaires et leur position constituent un facteur important puisqu'ils influencent d'une manière sensible les mouvements d'air à l'intérieur du canal.

❖ **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 appont de la ventilation naturelle lorsque celle-ci ne permet pas une circulation d'air suffisante.

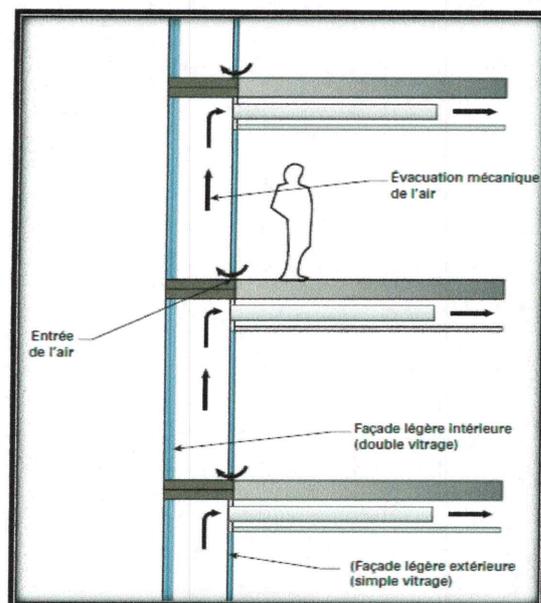


Figure 31: Principe de fonctionnement d'une Façade double ventilée mécaniquement.
(Source : www.maurer_architecture.com)

3.3.2 Les types de compartimentage

❖ **Les façades de type « Shaft-box » :** Des conduits verticaux sont reliés au modules de chaque étage, permettant ainsi l'augmentation du tirage thermique. L'objectif est de favoriser la ventilation naturelle en adaptant le compartimentage de la façade de manière à créer un tirage thermique accru par étage

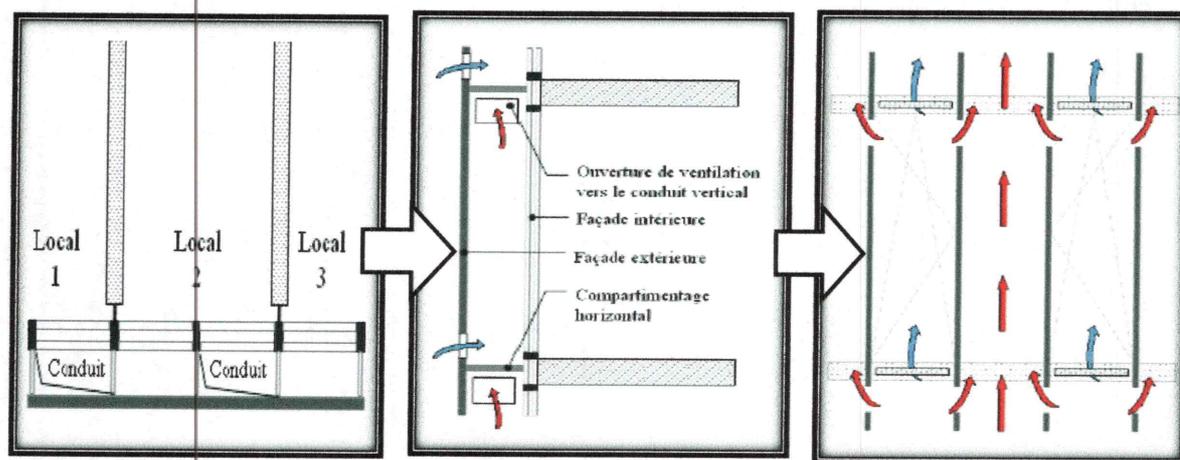


Figure 32: Vue schématique du compartimentage Shaft-box vue en plan, coupe, et en élévation.

(Source : www.cobse.fr)

❖ **Les doubles façades ventilée de types multi-étage corridors :** Sont caractérisées par une large cavité dans laquelle permet généralement le passage d'une personne. Donc il est

généralement possible de circuler. Le compartimentage est quasiment nul, la circulation d'air se fait sur toute la façade, et l'effet de tirage thermique est maximum⁴¹

❖ *Les doubles façades ventilées de types multi-étage à lamelles :*

sa cavité ni compartimentée ni horizontalement ni verticalement et forme de ce fait un grand volume. Des planches métalliques sont aménagées au niveau de chaque étage afin de permettre d'y accéder, essentiellement pour des raisons d'entretien et de maintenance.

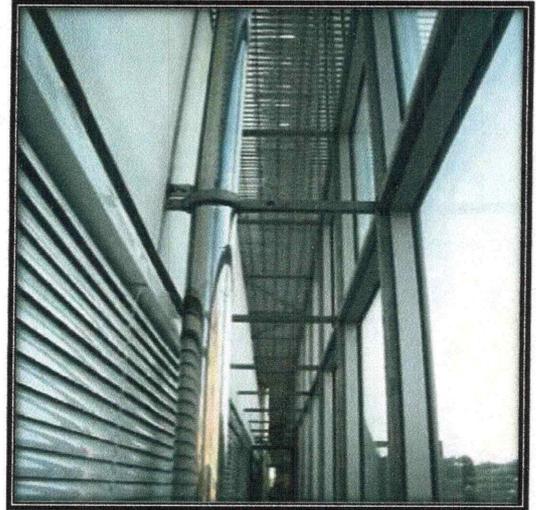
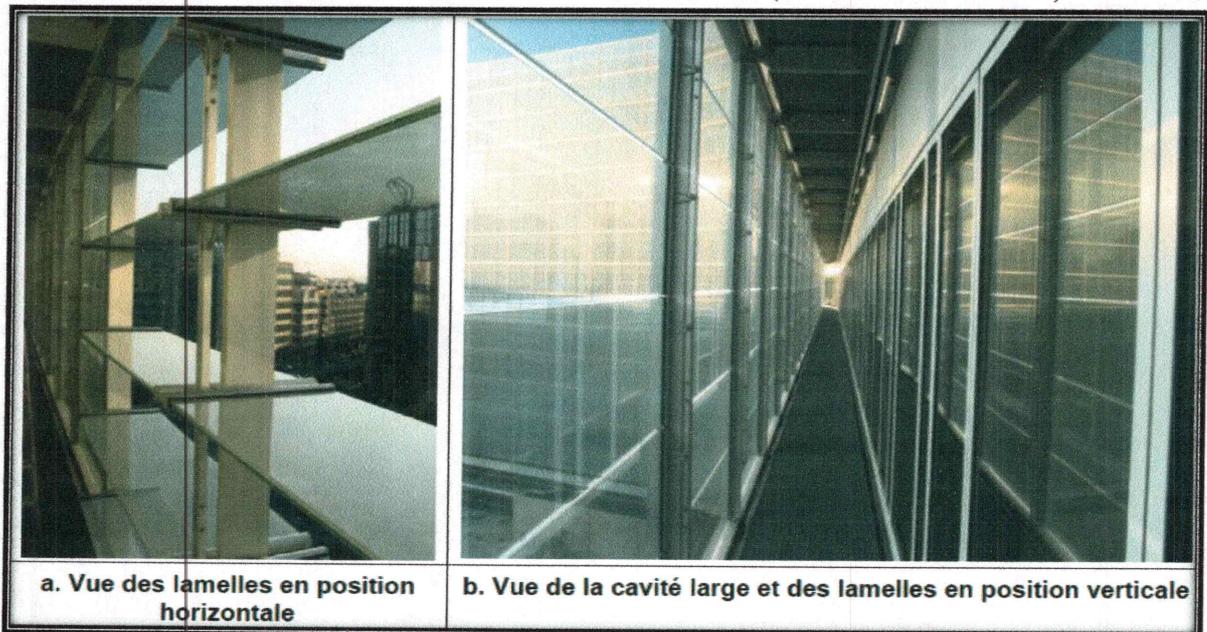


Photo 11 : Double façade ventilée De type multi-étage.
(Source : www.crit.arci.fr)



a. Vue des lamelles en position horizontale

b. Vue de la cavité large et des lamelles en position verticale

Photo 12 : Double façade ventilée à lamelle.

(Source : www.crit.arci.fr)

3.3.3 Les différents modes de ventilation

Selon la finalité d'une façade double peau le mode de ventilation va être totalement différent. La circulation de l'air au sein de la cavité intérieure conditionne en partie le comportement

⁴¹ X.Loncour, A.Deeyer, M.Blasco, G. Flamant, P.Wouters, « Les doubles façades ventilées classification et illustration des concepts des façades », octobre 2004, p11.

thermique et aéraulique de la FDP et donc son influence sur le bâtiment. Il y'a lieu de distinguer 5 principaux modes de ventilation suivants (voir figure 30)

- **Rideaux d'air extérieur** : Dans ce mode de ventilation, l'air introduit dans la cavité provient de l'extérieur et est directement rejeté vers l'extérieur la ventilation de la cavité forme de ce fait un rideau d'air enveloppant la façade extérieure.
- **Rideaux d'air intérieur** : L'air provient de l'intérieur du local et est repris vers l'intérieur du local ou par le système de ventilation. La ventilation de la cavité forme de ce fait un rideau d'air enveloppant la façade intérieure.
- **Alimentation en air** : La ventilation de la façade est réalisée avec l'air extérieur. Cet air est ensuite amené vers l'intérieur du local ou dans le système de ventilation. La ventilation de la façade permet ainsi d'alimenter le bâtiment en air.
- **Evacuation de l'air** : L'air provient de l'intérieur du local et est évacué vers l'extérieur. La ventilation de la façade permet ainsi d'évacuer l'air de bâtiment.
- **Espace tampon** : Ce mode de ventilation est particulier dans la mesure où chacune des peaux de la double façade est rendue étanche. La cavité forme ainsi un espace tampon entre l'intérieur et l'extérieur. Aucune ventilation de celle-ci n'étant possible.

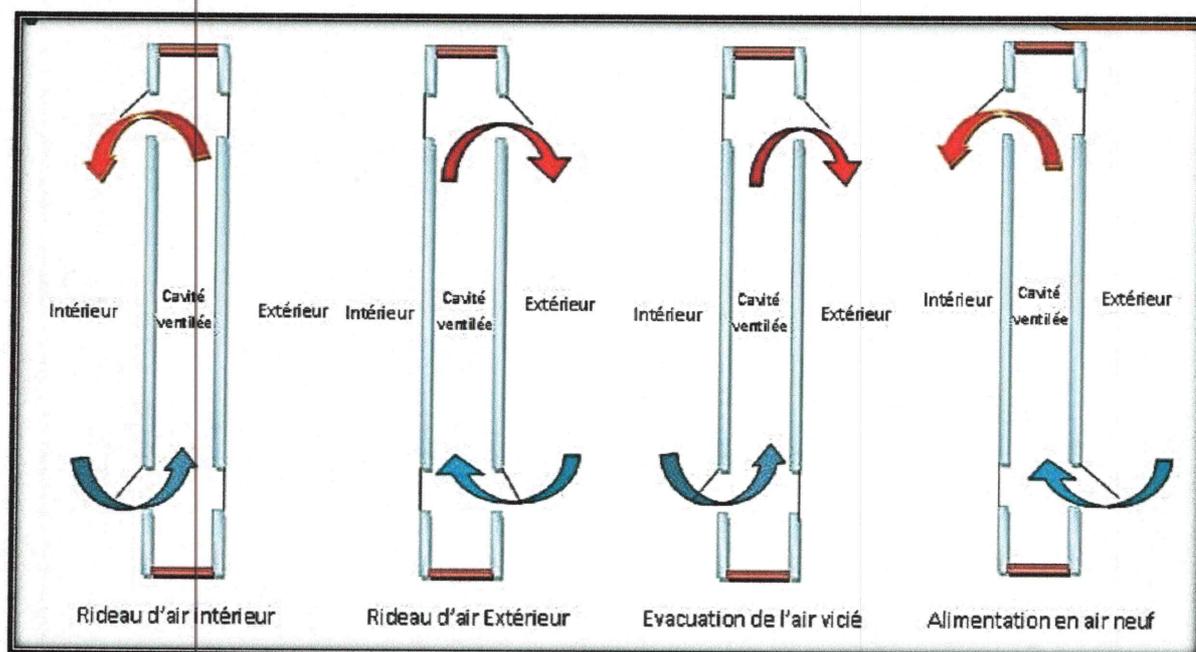


Figure 33: Schéma représente les différentes modes de ventilation de la façade double peau.

(Source : www.cobse.fr)

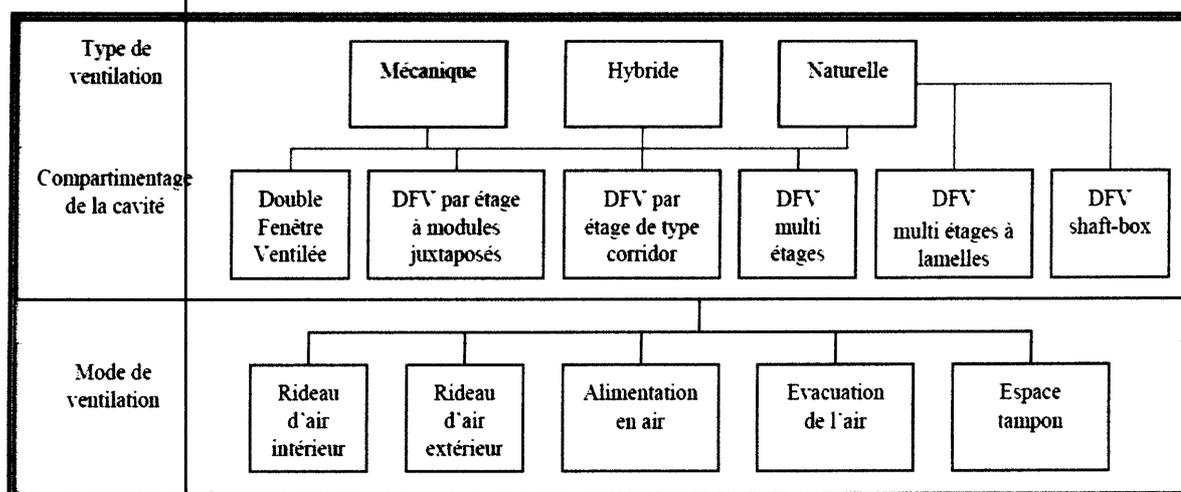


Figure 34 : Différents concepts de double façade ventilée en combinant les trois critères de classification.

(Source : travail Personnel)

3.2. Les façades actives

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. Parmi ces techniques il ya Le Mur Capteur Le mur Trombe-Michel la Véranda. (Voire l'annexe 3).

4. Illustrations des différentes techniques

4.1 Les façades vitrées:

Ce sont les plus répandues. Le vitrage situé avant la façade du bâtiment permet de filtrer le rayonnement solaire. Elles permettent également une ventilation naturelle, une isolation thermique et phonique.

4.2 Les façades métalliques

Elles se présentent généralement sous forme de lame brise-soleil ou de maille, en aluminium ou acier. La vocation première de cette façade est de diminuer l'apport solaire

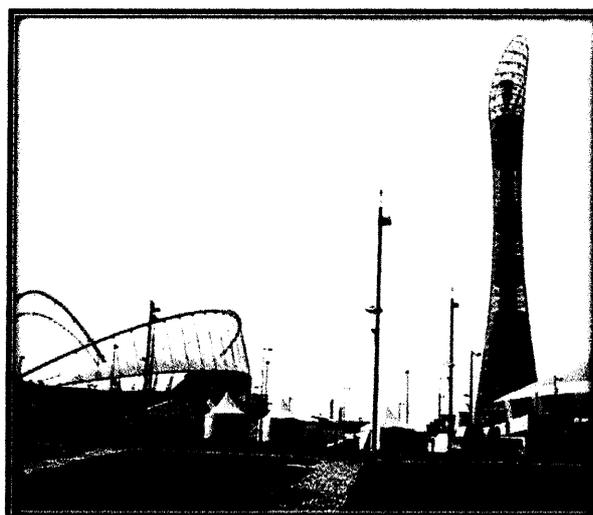


Photo 13 : façade métallique double peau

(Source : www .tess.fr)

Direct, de manière à éviter les surchauffes estivales. C'est donc une enveloppe métallique qui vient entourer, totalement ou Partiellement, le bâtiment déjà existant. Cette technique est souvent appliquée dans les bâtiments tertiaires, afin de réconcilier esthétique et confort thermique. La encore, la lame d'air présente entre l'écran et le bâtiment joue le rôle d'espace tampon, et permet une ventilation naturelle.

4.3 Les façades végétalisées

La surface de cette double peau est composée de murs végétalisés, dont les parois sont couvertes de plantes sur les deux faces. Ce système de murs végétalisés apporte un rafraîchissement de l'air en été. Grâce au principe de l'évapotranspiration, un environnement végétal augmente le taux d'humidité dans l'air, ce qui crée une atmosphère plus fraîche. Grâce à une

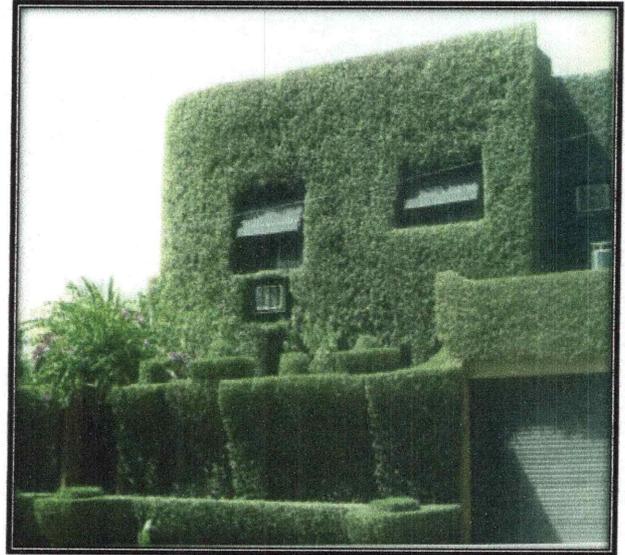


Photo 14 : Façade double peau végétalisée

(Source : oceuretacris.centerblog.net)

Circulation aéraulique appropriée il est ainsi possible de rafraîchir l'air ambiant du bâtiment sans avoir recours à un système de climatisation.⁴²

- **En été** : les plantes sont verdoyantes et favorisent deux phénomènes : d'une part, le rayonnement solaire est filtré par le rideau végétal, ce qui permet de garantir un confort thermique à l'intérieur. D'autre part, la circulation d'air frais, d'abord dans l'espace intermédiaire, puis au sein du bâtiment, permet de palier à l'utilisation d'une climatisation.⁴³

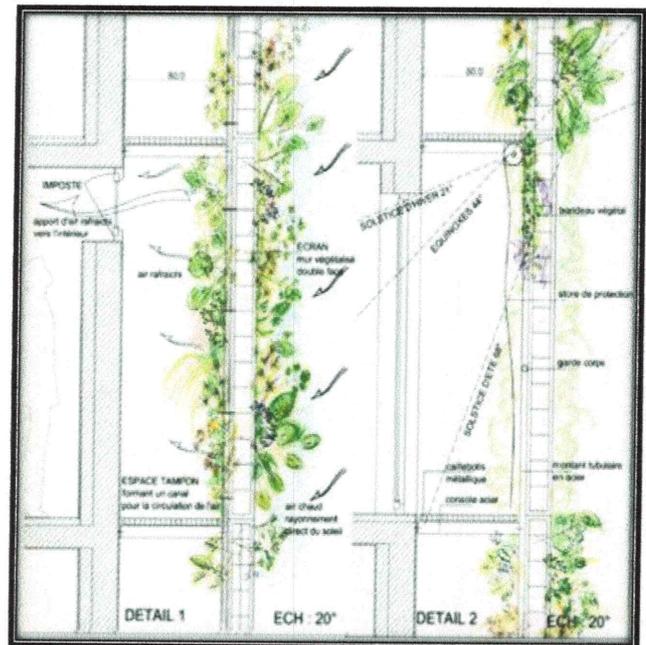


Figure 35 : Coupe verticale sur une FDP végétalisée

(Source : www.art-charpentier.com)

⁴² DESTTRAC, J.M. Mémotech : « Enveloppe du bâtiment », Casteilla, Saint-Quentin en Yvelines, 2005, p331.

⁴³ [http://fr.ekopedia.org/Fa%C3%A7ade « façade double peau »](http://fr.ekopedia.org/Fa%C3%A7ade%20double%20peau) consulté le 6 avril 2015.

- **En hiver** : les feuilles caduques permettent au rayonnement solaire de pénétrer dans le bâtiment et ainsi d'apporter de la chaleur.

4.4 Les façades à lamelles

Présentes devant des vitrages, les lames de bois ont la même vocation que leurs cousines métalliques.



Photo15 : Maison avec toi double peau à lamelle de bois

(Source : www.bricozone.fr)

Photo16 : Façade double peau à lamelle de bois

(Source : www.bricozone.fr)

Mode de fonctionnement des façades double peau

Le mode de fonctionnement de la Façade double peau s'adapte aux conditions climatiques :

5.1 En hiver :

La double peau étant fermée, nous utilisons le rayonnement solaire afin de réchauffer l'air intérieur de la double peau et d'emmagasiner un maximum de chaleur solaire. Une fonction automatique permet de limiter la température excessive dans la double peau, par l'introduction momentanée de l'air extérieur, si nécessaire. Nous pouvons utiliser les ouvrants de façade du bâtiment afin de laisser pénétrer l'air chaud de la double peau et donc de limiter l'utilisation du chauffage.

5.2 En été :

La prévention de la surchauffe de l'air intérieur en ventilant naturellement l'air contenu dans la double peau permet à l'air chaud de la double peau d'être maintenu hors du bâtiment. Nous pouvons utiliser les ouvrants de façade du bâtiment afin de laisser pénétrer l'air frais de la double peau et donc de limiter l'utilisation de la climatisation.

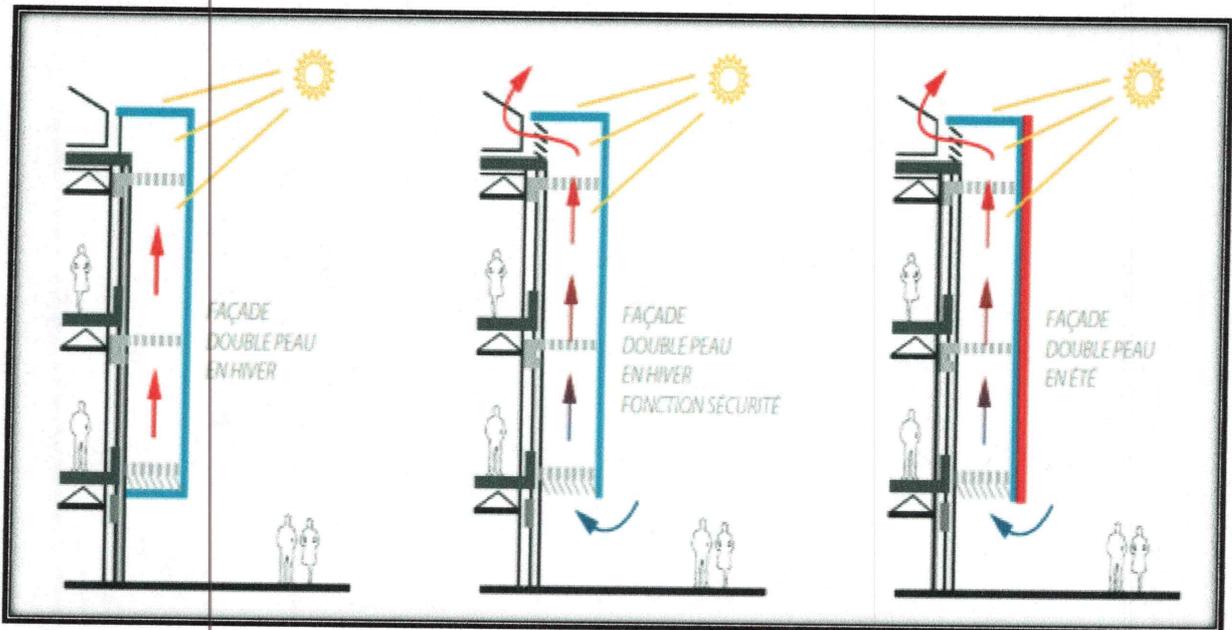


Figure 36 : mode de fonctionnement d'une façade double peau

(Source : www.guichetdusavoir.org)

Ce mode de fonctionnement n'étant pas linéaire dans le temps, et devant s'adapter automatiquement en fonction des conditions climatiques extérieures, il est indispensable d'avoir une gestion automatisée via un automate programmable intégrant l'ensemble des contraintes de fonctionnement de la technologie. Cet automate va permettre de piloter une façade double peau et de gérer l'air qu'elle stocke pour le réutiliser dans le bâtiment. L'hiver, cet air déjà chaud limitera l'utilisation du chauffage ; l'été, l'air contenu dans la double peau sera naturellement ventilé pour un moindre recours à la climatisation.⁴⁴ Nous faisons de la double-peau un instrument architectural au service du confort thermique et acoustique. La Gestion de 5 façades double peau. En hiver comme en été, nous pouvons utiliser les ouvrants de façade du bâtiment afin de laisser pénétrer l'air de la double peau dans le bâtiment et, par le fait, de limiter l'utilisation de la climatisation et du chauffage, en y associant une gestion de Ventilation Naturelle Intelligente (VNI).⁴⁵

⁴⁴ Valentin-Florian GAVAN, « *Gestion intelligente et performance énergétique des façades actives de type "double-peau"* », 07/10/2009, Thèse ADEME, p75.

⁴⁵ HERZOG, T. KRIPPNER, R., LANG, W, « *Construire des façades* », Presses polytechniques universitaires Romandes, Lausanne, 2007, p250.

Les constructions à double peau présentent un intérêt énergétique certain, lorsqu'elles sont jumelées à d'autres dispositifs constructifs, Telle la mixité bois-béton. Les enjeux d'une façade double peau sont :

- ❖ L'aspect esthétique de la façade extérieure, Image high-tech, abstraction de la façade avec l'absence des repères conventionnels.
- ❖ La façade double peau permet de séparer l'aspect fonctionnel de la peau intérieure et l'aspect esthétique de la peau extérieure ;
- ❖ Une façade double peau est assimilable aux espaces tampons habituellement utilisés dans la conception bioclimatique. Ces espaces, comme leur nom l'indique, ont pour objet de venir « absorber » les variations du climat pour réguler la température intérieure des espaces.
- ❖ Récupération de l'air chaud de la double-peau (possible) ;
- ❖ Supprime l'effet de paroi froide en hiver, qui produit un inconfort intérieur ;
- ❖ Diminution des pertes par infiltration ;
- ❖ la façade double peau a pour fonction la régulation thermique du bâtiment. Elle le protège des contraintes météorologiques. Par rapport aux rayonnements directs du soleil, elle évite les surchauffes d'été et limite le recours à la climatisation;
- ❖ La mise en place de protection solaire protégée dans la lame d'air ;
- ❖ Le rafraîchissement diurne et/ou nocturne simplifié et facilité par l'intermédiaire d'ouvrants de confort sur la peau intérieure ;
- ❖ Amélioration de la ventilation naturelle grâce à l'effet de tirage ;
- ❖ Possibilité plus fréquente d'utiliser la ventilation nocturne ;
- ❖ Stratégie de l'éclairage naturel ;
- ❖ Diminution des apports internes et des consommations électriques ;
- ❖ Augmentation du confort visuel;
- ❖ L'amélioration du confort d'été dans les bâtiments par diminution de la température de surface des vitrages de la peau intérieure par l'intermédiaire de la circulation d'air dans la lame d'air ;
- ❖ L'amélioration de l'isolation thermique pour le confort d'hiver ;
- ❖ L'amélioration des performances acoustiques sous condition de perméabilité de la paroi extérieure ;
- ❖ Concevoir des bâtiments avec ce type de façade garantit des économies d'énergie et contribue à la limitation des émissions des gaz à effet de serre. Soit parce qu'ils protègent

du froid et du vent, soit parce qu'ils stockent de la chaleur comme les serres solaires passives.

- ❖ La possibilité de production d'énergie annexe sur la peau extérieure du type vitrages photovoltaïques micro-algues.

Par contre parmi les inconvénients que peut présenter la mise en œuvre d'une façade double peau en trouve :

- ❖ La perte de surface utile due à l'épaisseur de la lame d'air entre les deux peaux de la façade ; toutefois, cela n'impacte pas le calcul de surface utile réglementaire.
- ❖ Le surcout 1.5 fois à 2 fois le cout d'une façade simple peau, qui est du à l'installation de deux façades.
- ❖ L'entretien plus important car il y a quatre faces à nettoyer au lieu de deux dans le cas d'une façade simple peau.
- ❖ La gestion de la protection feu et du désenfumage sont très difficile à gérer.
- ❖ La difficulté de la conception.

Conclusion

Les façades doubles peau sont des solutions techniques de plus en plus utilisées dans le cadre de réhabilitation de bâtiments ou de constructions neuves pour répondre notamment aux exigences de la nouvelle réglementation thermique RT 2012.

Pour un projet de construction ou de rénovation, la façade double peau doit être pensée dès le début du projet et ne doit pas constituer une contrainte mais un plus pour se protéger du climat et profiter des ressources naturelles pour le réchauffement et l'éclairage des pièces. Il faut que le terrain se prête à une réalisation de ce type, en fonction des caractéristiques topographiques, microclimatiques, hydrographiques et de la végétation. Une isolation performante et une bonne inertie sont préconisées pour que la conception soit réellement économe.



Chapitre 4

*Étude des
Réalizations*

EXEMPLE:01 Le musée des Civilisations de l'Europe et de la Méditerranée (M.U.C.E.M)

1. Présentation du projet

Premier Musée National à s'expatrier loin de la capitale, le MuCEM affirme sa mission de rayonnement culturel tout en s'intégrant respectueusement dans l'un des plus beaux sites historiques de la Méditerranée. Un projet qui exploite toutes les performances pour un éloge du dense et du fragile. Le musée proprement dit, « un bâtiment de pierre, d'eau et de vent »

⁴⁶. Réalisé par l'architecte Rudy Ricciotti, associé à Roland Carta, le projet offre l'environnement en partage, Minéralité, Géométrie originelle, filtre climatique.

Le MuCEM, avec sa maigreur structurelle et son absence de reflet et de brillance, renvoie à la métaphore de l'espace méditerranéen. Il ne cherche pas à rivaliser avec la masse historique du fort Saint-Jean. « C'est un projet féminin, nerveux, qui n'a que la peau et les os ».



Photo17: l'architecte Rudy Ricciotti
(Source : www.architectes-paca-org).



Figure 37 : Une image de synthèse, réalisée par l'architecte Rudy Ricciotti, du M.U.C.E.M.

(Source : www.méridiances.org.)

2. La partie pris conceptuel du projet architectural du M.U.C.E.M

- ❖ Vues, mer, soleil, minéralité sont instrumentés par un programme devenu fédératif et cognitif. Tout d'abord un carré parfait de 72 mètres de côté, il s'agit d'un plan classique, latin, sous le contrôle de Pythagore. ⁴⁷
- ❖ C'est un cube autour duquel on va circuler, comme dans une ziggourat, pour monter

⁴⁶ Rudy Ricciotti : «Le MuCEM, une architecture féminine et musculaire», RFI le 3 juin 2013.

⁴⁷ Dossier de presse, MuCEM, 2014, Pag 14.

Lentement, Vers le toit. Un lieu de partage de l'édifice public, qui offre un autre voyage aux Marseillais et aux visiteurs, sans forcément pénétrer à l'intérieur du musée. Un cheminement qui cadre plusieurs vues, sur la zone portuaire, sur le large à l'ouest, sur le fort Saint-Jean, sur la ville.

❖ Cette casbah verticale est reliée au fort par une passerelle d'une prouesse technologique Exceptionnelle, comme un ruban, un muscle noir, gracile, qui va pulvériser un nouveau record d'élancement avec un franchissement de 78 m. C'est un bâtiment qui sera, dans son ensemble, à cette image, d'une grande aventure technique. Mais c'est aussi un musée populaire, un territoire partagé, un territoire de compréhension pour savoir qui nous sommes. Il exprime une violence intérieure, qui correspond à une violence esthétique pour continuer à survivre, à rêver, à être aux limites de la raison



Photo 18 : une image de synthèse, réalisée par l'architecte Rudy Ricciotti, du M.U.C.E.M.

(Source : www.meridianges.org.)

3. Description du projet

Lancés en 2010 dans le port de Marseille, capitale européenne de la culture en 2013, les travaux du musée des Civilisations de l'Europe et de la Méditerranée (MuCEM), conçu par les architectes Rudy Ricciotti et Roland Carta, incarnent l'un des projets phares du Groupe sur le marché français des musées.



Photo 19 : Photo aérienne sur le MUCEM

(Source : Google Earth modifié par l'auteur)

Situation: Ce musée se situe sur un site Particulièrement agressif. En effet, le musée

Se trouve au niveau du port de Marseille, sur le môle J4, juste à côté du Fort Saint Jean. Le gros œuvre de cet ouvrage de haute technicité, D'une surface utile de 12 550 m².

3.2 Les caractéristiques du site

Ce bâtiment sera en permanence exposé au vent, à l'atmosphère marine et aux embruns, ainsi qu'à d'importantes variations de températures tant journalières que saisonnières. Il s'agit d'un musée de civilisation, le symbole qui représente, son importance, son implantation, font qu'il doit s'inscrire dans la durée pour faire honneur aux grandes civilisations dont les constructions ont traversées les siècles.

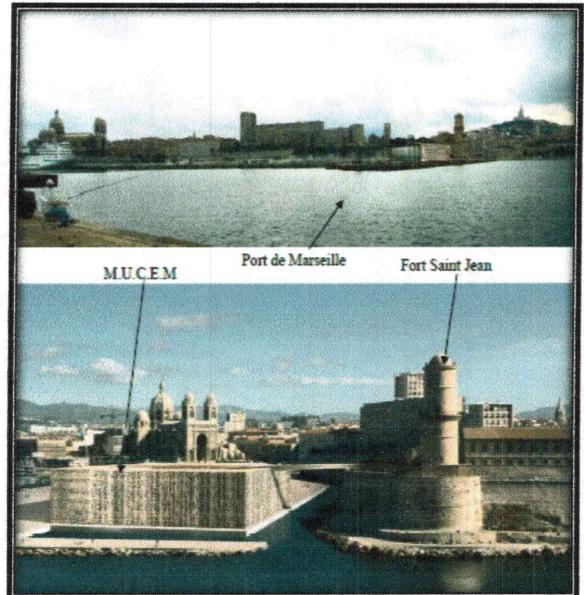


Figure 38 : Situation du MuCEM

(Source : www.méridianes.org, modifié par l'auteur)

3.3 La forme du bâtiment

Tout d'abord, le MuCEM est composé d'un caré parfait d'environ 72 mètres de côté, dans lequel est inscrit un carré d'environ 52 mètres de côté, pour une hauteur de 17,5 m au-dessus du sol et 6,5 m sous le niveau du sol, affleurant le niveau de la mer. La zone centrale du musée est constituée de 3 niveaux principaux alors que les locaux administratifs en périphérie sur deux côtés sont répartis sur 7 niveaux dont 2 en sous sol (voir Figures 36). L'ensemble est recouvert en toiture et sur les façades Sud et Ouest d'une résille en béton fibré

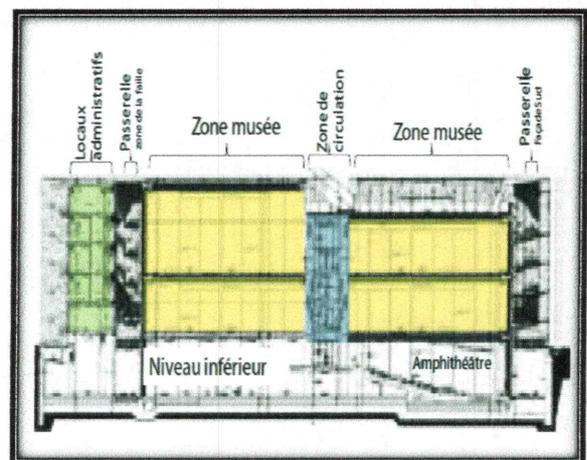


Figure 39: Coupe type du bâtiment selon l'axe Nord/Sud

(Source : www.fr.wikiédia.org)

(BFUP). Le taux d'ouverture de cette résille est de l'ordre de 75 %. Les niveaux inférieurs contiennent un amphithéâtre, des locaux techniques et des locaux d'entreposage pour des œuvres du musée.

Ce volume est enserré sous une résille, joue le rôle de brise soleil. Réalisée comme la structure

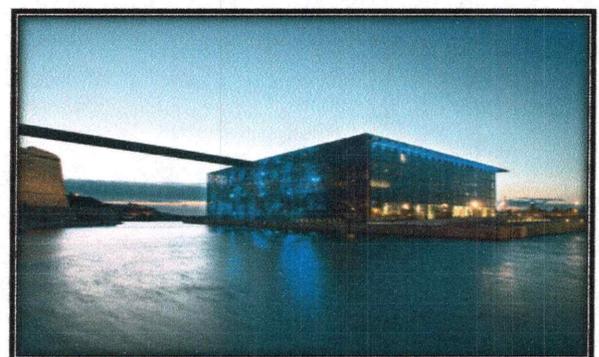


Photo 20: MuCEM de nuit, avec la passerelle.

(Source : www.lumiers de la ville.net)

- L'analyse des données de vent de la ville de Jijel, fait ressortir deux secteurs de vent qui dominant à savoir le secteur Ouest à Nord-Ouest suivi par le secteur Nord à Est donc Elle peut utiliser la double peau comme, isolants, tirer les vents, et induire les courants de convection souhaités dans le coté nord a l'ouest .
- A partir des donnés des vents vitesses de plus **de 100 km/h en** hiver avec un record plus de 20. (km/h) par an. donc on peut combiner avec un autre technique comme le cheminé solaire par l'utilisation des vents dominants en introduisant un courant d'air frais générateur de confort pour le refroidissement de vide entre les deux peaux .
- Selon les données météorologiques les climats de Jijel et de Marseille sont similaires donc en peut utiliser les mêmes matériaux (le béton cellulaire) pour l'intégration d'un projet dans notre région.
- La technique peut utilisée comme brise soleil donc c'est la meilleure solution pour un été chaud et sec est une température maximale 37 C°.
- Jijel est une ville côtière et la proximité de la mer a permis d'envisager que la production pour le chauffage et le refroidissement des locaux puisse être traités grâce a un système de pompage / rejet d'eau de mer alimentant des équipements thermo-frigorifiques comme celle de MUCEM. ou matière de production d'énergie durable.

CONCLUSION :

La relation entre architecture et climat propose un ensemble de recherches qui touchent à l'architecture durable : celle-ci tire parti des avantages qu'offrent les contextes dans lesquels elle s'inscrit, se protège des désavantages de ceux-ci, fait bénéficier le milieu dans lequel elle s'inscrit de ses apports, protège celui-ci de ses propres nuisances.

Ainsi au niveau climatique, l'architecture vise à utiliser les ressources du climat pour réduire les dépenses d'énergie consacrées au chauffage, au refroidissement et à l'éclairage des bâtiments, en vue de réaliser le confort des occupants : confort thermique d'hiver et d'été, confort lumineux, confort respiratoire.

La même philosophie est développée dans les domaines de l'efficacité énergétique des bâtiments, depuis l'échelle du quartier à celle des composants de la construction.

Enfin cette approche conceptuelle de relation entre architecture et climat touche toutes les constructions (le logement, les immeubles de bureaux et les écoles les hôtels etc.), tant en bâtiments neufs, qu'en rénovation.



*Conclusion
Générale*

CONCLUSION GENERALE

La première partie de ce travail fut consacrée à la synthèse des connaissances actuelles de la technique de manière globale, Puis à son application au sujet de l'enveloppe du bâtiment. A fin de définir les pris en compte pour l'adapter à notre région.

Le confort thermique constitue actuellement un enjeu majeur dans le secteur du bâtiment tant pour la qualité des ambiances intérieures que pour les impacts énergétiques et environnementaux dont il est responsable.

Pour situer le problème du confort thermique à l'intérieur des constructions, nous avons analysé les connaissances existantes à travers une étude bibliographique. Cette étude nous a permis de comprendre la complexité de ce sujet à travers sa pluridisciplinarité et pour atteindre naturellement le confort, en privilégiant des solutions simples et de bon sens. C'est une nécessité pour réduire les besoins énergétiques du bâtiment. Avec l'adaptation de la construction aux paramètres climatiques, les divers besoins domestiques sont énormément minimisés.

L'isolation thermique est un moyen efficace pour diminuer la facture de chauffage et accroître le confort des constructions. Une bonne isolation thermique est également bénéfique pour l'environnement car, en réduisant les consommations d'énergie pour le chauffage et / ou la climatisation, elle permet de préserver les ressources énergétiques et de limiter les émissions de gaz à effet de serre. Il existe des produits d'isolation adaptés à chaque situation. Donc il y a des solutions techniques diversifiées permettent de traiter chaque cas avec efficacité.

Dans le cadre de la réhabilitation de bâtiments ou de constructions neuves, les façades multiples double peau sont de plus en plus utilisées. Leur conception permet, en particulier de répondre aux exigences de la réglementation thermique. D'abord de profiter des apports de chaleur (thermique d'hiver), tout en maîtrisant un confort thermique d'été. Puis profiter des apports de lumière, d'intégrer des protections solaires protégées des intempéries et de gérer une ventilation du bâtiment par une gestion des ouvrants dans les peaux extérieures.

Le renouvellement de l'air est la principale source de déperditions thermiques dans une construction. Il faut donc réduire les besoins en assurant une bonne aération en privilégiant la ventilation naturelle.

Recommandations et conclusion générale

Dans le but de créer une ventilation naturelle, on a proposé un système de ventilation passif utilisant une cheminée solaire, qui a fait l'objet de notre travail. Le cheminé solaire est un genre de ventilation avec des avantages multiples. Il ne nécessite ni énergie fossile, ni énergie électrique, pour fonctionner en mode de refroidissement passif ou d'éliminer la condensation de la vapeur d'eau.

De plus les constructions à double peau présentent un intérêt énergétique certain, lorsqu'elles sont jumelées à d'autres dispositifs constructifs, telle la mixité bois-béton, le mariage avec une autre technique de refroidissement d'air et la réalisation d'une structure primaire du bâtiment en béton permet de concilier performances thermiques d'hiver et d'été.

Matériellement et techniquement, construire des constructions par les procédés passifs n'est pas une utopie. Les techniques et les matériels sont au point depuis longtemps et il existe de nombreuses réalisations dans différents pays européens ; ces pays se caractérisent souvent par des climats plus continentaux et plus similaires que celui que nous connaissons. En Algérie, la construction passive est donc aussi une solution technique applicable.



RECOMMANDATIONS

La réduction des températures internes pouvait être réalisée au moyen de concepts de refroidissement passifs tels que : l'isolation, la ventilation et l'inertie thermique de l'enveloppe. Il est possible de diviser par deux ou plus sa facture énergétique et d'améliorer son confort grâce à une **rénovation thermique globale, efficace** et avec un recours aux **énergies renouvelables, à travers les** solutions de sobriété permettant une efficacité énergétique. Parmi les conseils pour améliorer le confort thermique de votre logement en été comme en hiver.

- En hiver il faut chauffer par rayonnement si possible ce dernier permet d'obtenir une température opérative agréable. Puis Contrôler les mouvements d'air et Evacuer l'humidité
- En été, il faut rafraichir le logement au maximum. Nous pouvons pour cela limiter les apports solaires (les surface vitrée ; le choix du vitrage ; Protections solaires),
- Utiliser des matériaux ayant un déphasage adapté pour éviter une montée en température insoutenable dans l'après-midi, et bien maitriser leur inertie thermique et leur performance.

Les façades doivent être pensées dès le début du projet, et ne doit pas constituer une contrainte mais un plus pour se protéger du climat, et profiter des ressources naturelles, pour le réchauffement et l'éclairage des pièces.

L'étude comparative constitue une partie importante de cette recherche. Elle s'est basée sur l'étude analytique de deux exemples qui utilisent la technique de la façade double peau, cette analyse basé sur une comparaison profonde entre les conditions d'adaptation de la façade double peau avec l'environnement. D'abord Entre modernité et tradition l'œuvre de Renzo Piano et Rudy Ricciotti sont marquée par un profond souci d'intégration soit dans le contexte forestier rural (le centre culturel Tjibaou) ou le contexte urbain (MUCEM), les deux architectes décident de créer une symbiose entre une architecture contemporaine et l'environnement naturel que ce soit en nouvelle Calédonie marqué par un climat tropical ou à Marseille qui caractérisé par un climat méditerranée.

- Les résultats de cette étude, montrent que les données de site et les changements climatiques sur le plan de masse ont une influence sur le traitement de la façade double peau.

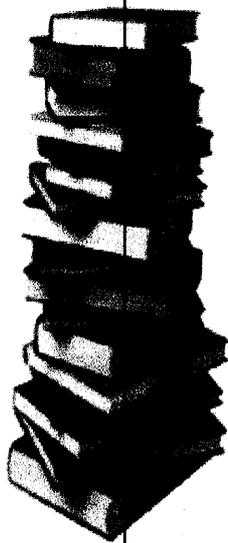
- Par la suite le choix de l'enveloppe du bâtiment a une incidence notable sur le confort thermique, elle est toujours considérée comme étant l'élément principal de la régulation thermique, des échanges de la chaleur entre l'intérieur et l'extérieur.
- Le comportement thermique de ces surfaces vis-à-vis de la radiation solaire et de la température, joue un rôle très important dans la détermination des conditions de confort thermique dans les espaces intérieurs. Donc cette enveloppe doit également se modifier, intégrant des protections solaires et en différenciant ses façades selon leur orientation.

Afin de bien optimiser la conception des constructions par les procédés passifs et de les rendre plus confortables, nous avons pu dégager quelques recommandations pour un climat méditerranéen comme celle de notre région. Ces recommandations visent à sensibiliser les intervenants dans le domaine de l'architecture de prendre en compte le facteur fondamentales pour respecter dans leur conception.

On doit donc accorder une grande importance aux points suivants :

- Une façade « Double Peau» doit respecter les conditions locales (utilisateurs, climat, forme, orientation du bâtiment et nuisances sonores, la topographie de site, système de ventilation, le matériau et l'environnement) pour contribuer à la conservation des ressources naturelles et à l'amélioration du confort des usagers.
- Faire une bonne lecture et analyse des données climatiques de la ville et de la rose des vents fournie par les services compétents. Cela permet d'identifier le régime des vents de la région et ses caractéristiques. Afin de bien concevoir et orienter la nouvelle enveloppe isolée de construction.
- La prise en compte des peaux de l'enveloppe en relation avec le climat et l'environnement extérieur va conditionner le choix des matériaux et la forme des bâtiments et demander une réflexion d'ensemble sur toute la conception architecturale.
- Dans le climat méditerranéen on recherche dans les bâtiments des conditions d'ambiance proches de celles de l'extérieur. C'est à dire qu'on recherche des conditions de confort identiques à celles ressenties par un individu, à l'ombre sous une brise légère. Pour cela on favorise les protections solaires, une inertie légère et une ventilation permanente.

- L'hygrométrie étant toujours élevée, on ventile fortement pour améliorer le confort en diminuant la sensation d'humidité nous proposons la cheminée solaire pour une meilleure ventilation. qui composent le paysage traditionnel méditerranéen.
- la double peau est essentiellement employée pour ces qualités thermiques et environnementales.
- La technique double peau c'est une technique moderne mais on peut l'adapter dans tous les sites soit ruraux ou urbains.
- La technique peut utiliser comme une brise solaire.
- L'alliance de la double peau et l'esthétique des façades semble la technique «D'avenir» offrant une meilleure performance énergétique et environnementale des complexes de façade tout en vérifiant les contraintes techniques en vigueur.



Bibliographie



Références Bibliographiques :

Ouvrage :

Format en papier :

-Izard-L, « *Architectures d'été construire : pour le confort d'été* », Edition Edisud, 1994.

-NEUF, « *Climat intérieur/ confort, santé, confort visuel* », Revue européenne d'architecture N° 7, novembre – décembre 1978.

Articles numérique :

-Cantin, R et al. « *Complexité du confort thermique dans les bâtiments* » in actes de 6ème congrès européen de science des systèmes, tenu à Paris 22 septembre 2005 [En ligne] www.res-systemica.org/afscet/resSystemica/Paris05/cantin.pdf

-Nohagamal « *La notion de confort thermique: entre modernisme et contemporain* » Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble. 03/12/2010. [En ligne] ambiances.revues.org/323

-Fernandez. P, et Ligne. P. « *concevoir des bâtiments bioclimatique, fondements et méthodes* » .le moniteur, 2009, [En ligne] www.larousse.fr/dictionnaires/francais/homéothermie/40217

-Nicol F, Humphreys M, « *Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free-running buildings in European standardcite* » cite in grignon-Masse,L 2010 op cit.57, in thés 5, p16 [En ligne] boutique.lemoniteur.fr/concevoir-des-batiments-bioclimatiques.html.

-Richieri, Fabrice. « *Développement et paramétrage de contrôleurs d'ambiance multicritères* » thèse soutenue [En ligne] architecture.brookes.ac.uk/staff/fergusnicol.html à L'institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2008.

-Corinne, M « *Travail à la chaleur et confort thermique* » Les notes scientifiques et technique de l'INRS, NST184, décembre 1999. [En ligne] heses.insa-lyon.fr/publication/2008ISAL0120/these.pdf.

- Olsen B W « *thermal confort requirement fir floors et confort thermique* », cite in : Mansouri Y. (2003), [En ligne] www.inrs.fr/dms/inrs/Publication/NOETUDE-3641-01/ns184.pdf
- Hamel khalissa, « *Confort Thermique* », Département d'architectur de l'université de Biskra, Master 1 Architectur et Environnement, Cours N° 1. [En ligne] www.bksv.com/doc/TechnicalReview1982-2.pdf
- Izard, J-L. kaçala, O, « *le diagramme bioclimatique envirobat-méditerranée, laboratoire abc, esnamarseille, 2008* », à partir du sit [http:// www.marseille . archi.fr/izard/~é.2008](http://www.marseille.archi.fr/izard/~é.2008) . [En ligne] [univ-biskra.dz/enseignant/ Hamel/Confort%20thermique%2002.pdf](http://univ-biskra.dz/enseignant/Hamel/Confort%20thermique%2002.pdf)
- Gimin.L « *Comment diminuer sa facture énergétique et améliorer son confort* ». Iziéco.html. [En ligne] [http:// www.marseille . archi.fr/izard/~é.2008](http://www.marseille.archi.fr/izard/~é.2008) .
- Association Canadienne de l'isolation thermique, « *Guide des meilleures pratiques d'isolation mécanique* » [En ligne] [fr.wikipedia.org/wiki/Efficacité _énergétique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Efficacité_énergétique)
- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, « *Isoler son logement* » Édition : juillet 2014, p5. [En ligne] [www.retscreen.net/fichier.php/1960/BestPracticesGuide_F\[1\].pdf](http://www.retscreen.net/fichier.php/1960/BestPracticesGuide_F[1].pdf)
- H. Bureau, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, « *Améliorez le confort de votre maison, l'isolation thermique* », Édition : Mars 2008. [En ligne] www.ademe.fr/sites/.../7352_guide_ademe_isoler_logement_bruit.pdf
- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, « *Isoler son logement* » Édition : juillet 2014. [En ligne] michel-moreau.over-blog.com/
- Saint-Gobain Isover « *Guide La Thermique Du Bâtiment* », Ed. France, Mai 2007. [En ligne] www.isover.fr/Guide-de-l-isolation/L-isolation-thermique.
- H. Bureau, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, « *Améliorez le confort de votre maison, l'isolation thermique* », Édition : France, Mars 2008. [En ligne] www.isover.fr/Guide-de-l-isolation/L-isolation-thermique.
- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, « *Isoler son logement* » Édition : juillet 2014. [En ligne] michel-moreau.over-blog.com/
- Dossiers techniques de Agence locale de l'énergie de l'agglomération lyonnaise, « *L'isolation Thermique Par L'extérieur* », 2009. [En ligne] www.ademe.fr/sites/default/files/.../guide-pratique-isoler-son-logement.PDF
- Jean-Marie HAUGLUSTAINE, Francy SIMON, « *L'isolation thermique des façades verticales* » Guide pratique pour les architectes, Université de Liège Ministère de la

- Région Wallonne, Université Catholique de Louvain, Février 2006. [En ligne] www.ale-lyon.org › ... › Dossiers techniques et thématiques.
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, guide pratique, « *L'isolation thermique : les maisons individuelles gagnent en confort* », paris, Ed Avril 2001, p26. [En ligne] energie.wallonie.be/.../isolation-thermique-des-façades-verticales---broch.
- Jean-Yves Charbonneau, Direction de la prévention-inspection, « *Confort thermique à l'intérieur d'un établissement* ». Québec, mars 2004, p125. [En ligne] www.ademe.fr/sites/default/files/.../guide-pratique-isoler-son-logement.PDF
- Vereinigung Kantonaler, « *Bâtiments à façades double-peau* », Note Explicative De protection incendie, 01 janvier.2015 /102-15/ Fr. [En ligne] www.csst.qc.ca/publications/200/Documents/dc_200_16183_3.pdf
- X.Loncour, A.Deeyer, M.Blasco, G. Flamant, P.Wouters, « *Les doubles façades ventilées classification et illustration des concepts des façades* », octobre 2004, p11. [En ligne] fr.wikipedia.org/wiki/Tirage_thermique.
- DESTRAÇ, J.M. Mémotech : « *Enveloppe du bâtiment* », Casteilla, Saint-Quentin en Yvelines, 2005, p331. [En ligne] www.vgi-fiv.be/wp-content/uploads/2012/09/Lauréat-2010.pdf.
- HERZOG, T. KRIPPNER, R., LANG, W. « *Construire des façades* », Presses polytechniques universitaires Romandes, Lausanne, 2007. [En ligne] www.cstb.fr/.../CSTB_Programme_recherche_Bilan_2007_2010_BD.pdf
- Rudy Ricciotti : « *Le MuCEM, une architecture féminine et musculaire* », RFI le 3 juin 2013. [En ligne] www.eyrolles.com
- Dossier de presse, MuCEM, 2014, Pag 14 [En ligne] www.rfi.fr/.../20130603-Rudy-ricciotti-mucem-architecture-feminine-mu.
- Maxence Naouri, Dossier de presse « *VINCI, l'art des musée* », juin 2013. [En ligne] www.vinci.com/vinci
- NICOLAS, Florence « *Etude de structure d'éléments principaux du Musée des Civilisations de l'Europe et de la Méditerranée : fondations, poteaux arborescents* ». Mémoire thèse, INSA de Strasbourg, (2007). [En ligne] eprints2.insa-strasbourg.fr/378/
- LE GUENIC Aurélien de l'entreprise SICA, « *Notes de calculs des poutres du plancher B.F.U.P., des passerelles périphériques et de la passerelle reliant le MuCEM au Fort Saint Jean* ». [En ligne] <https://www.yumpu.com/fr/document/view/28098774/rapport.../61>

Thèse de mémoire :

- Estéban Emilio Monténégro Iturra. « *Impact de la configuration des bâtiments scolaire sur leur performance thermique* » thèse de doctorat faculté des études supérieures de l'université Laval canada.2011.p164. [En ligne] www.theses.ulaval.ca/2011/28011/28011.pdf
- Nassim SAFER / « *Modélisation des façades de types double-peau équipé de protection solaires : Approches multi-échelles* », Thèse de doctorat en génie civil, soutenue le 13/06/2006, Institut National Des Sciences Appliquées De Lyon. [En ligne] www.praever.ch/fr/bs/vs/erlaeuterungen/Seiten/102-15_web.pdf
- Thèses de Mr. MAZARI. Mohammed, « Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public » Mémoire de magister en architecture, Septembre 2012. [En ligne] univ-biskra.dz/enseignant/Hamel/2014/3-liste%20bibliographique.pdf
- Valentin-Florian GAVAN, « *Gestion intelligente et performance énergétique des façades actives de type "double-peau"* », 07/10/2009, Thèse ADEME. [En ligne] [http://fr.ekopedia.org/Fa%C3%A7ade « façade double peau »](http://fr.ekopedia.org/Fa%C3%A7ade%20double%20peau) consulté le 6 avril 2015.
- NICOLAS, Florence « *Etude de structure d'éléments principaux du Musée des Civilisations de l'Europe et de la Méditerranée : fondations, poteaux arborescents* ». Mémoire thèse, INSA de Strasbourg, (2007). [En ligne] eprints2.insa-strasbourg.fr/378/

Sites internet :

- fr.wikipedia.org/wiki/Centre_culturel_Tjibaou
- architizer.com/.../new-whitney-museum-by-Renzo-piano.
- Meteo-Marseille.Com
- meteo.msn.com
- www.mhn.lille.fr/files/content/shared/files/lille%20durable/.../isolation.pd.
- www.ale-lyon.org › Accompagnements de projets › Construire & rénover
- www.researchgate.net/.../37410099_La_façade_double.
- [http://fr.ekopedia.org/Fa%C3%A7ade « façade double peau »](http://fr.ekopedia.org/Fa%C3%A7ade%20double%20peau) consulté le 6 avril 2015.
- econpapers.repec.org.
- [rti.mnit.ac.in/ dept_mech/research.php](http://rti.mnit.ac.in/dept_mech/research.php).
- Station météorologique de Jijel, (1999-2008), consulté le 1mai 2015.
- www.larousse.fr/dictionnaires/francais/sobriété

-<http://www.iziéco.html>. « Comment diminuer sa facture énergétique et améliorer son confort ».

-www.mucem.org/fr/node/2243

- www.praever.ch/fr/bs/vs/erlaeuterungen/Seiten/102-15_web.pdf

-www.amazon.fr.

[h//fr.ekopedia.org/Fa%C3%A7ade](http://fr.ekopedia.org/Fa%C3%A7ade) « façade double peau »

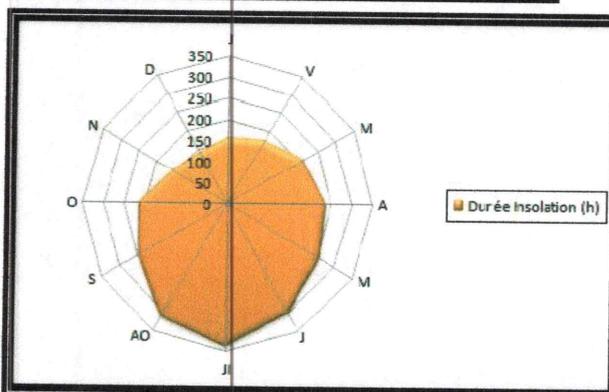
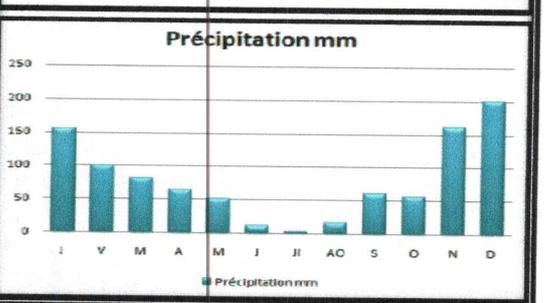
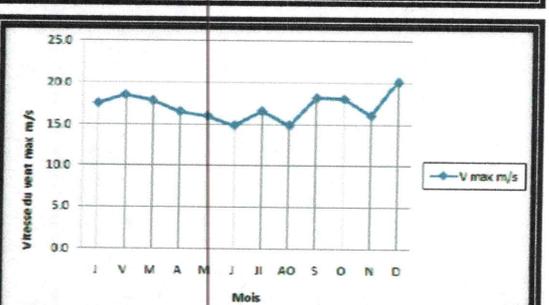
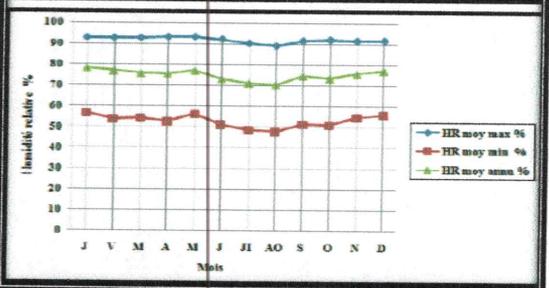
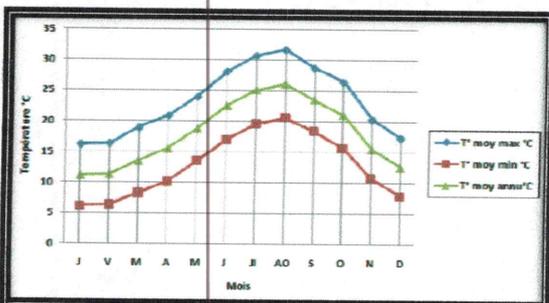
-www.bonnasabla.com

- www.mucem.org/sites/default/files/mucem_dp_fr_2014_light



Annexes

Annexe:01



Données climatiques mensuelles de Jijel –
Altitude 8 m, Latitude 36°48',
Longitude 5° E 7

Température :
 Tmoy max = 31.8°C - Aout
 Tmoy min = 6.2 °C – Janvier

Humidité :
 HR moy max = 93.3 % - Mai
 HR moy min = 51.1 % - Octobre

Vents :
 V moy max = 20.3 m/s

Précipitations :
 Précip. Max = 200.6 mm

Durée d'Insolation:
 Durée Ins. Moy max= 339.1 h - Juillet
 Durée Ins. Moy min= 138.67 h – Déc.

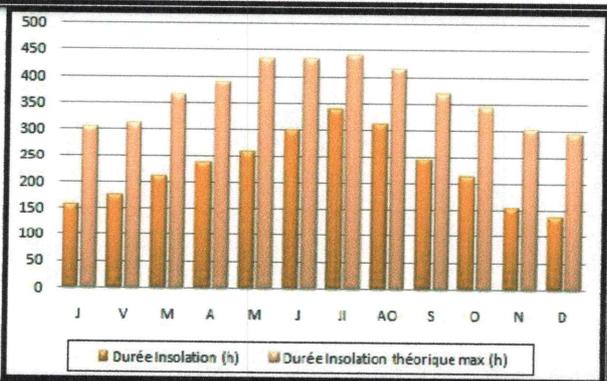


Figure 56: Les diagrammes des données climatiques de la ville de Jijel

¹ Station météorologique de Jijel, (1999-2008), consulté le 1 mai 2015.

La rose des vents de Jijel

D'après la rose des vents établie par les services spécialisés de la station météorologique de Jijel durant la période du 01 janvier 1999 au 31 décembre 2008, on peut déduire :

- Les vents dominants de l'hiver sont de direction N à O.

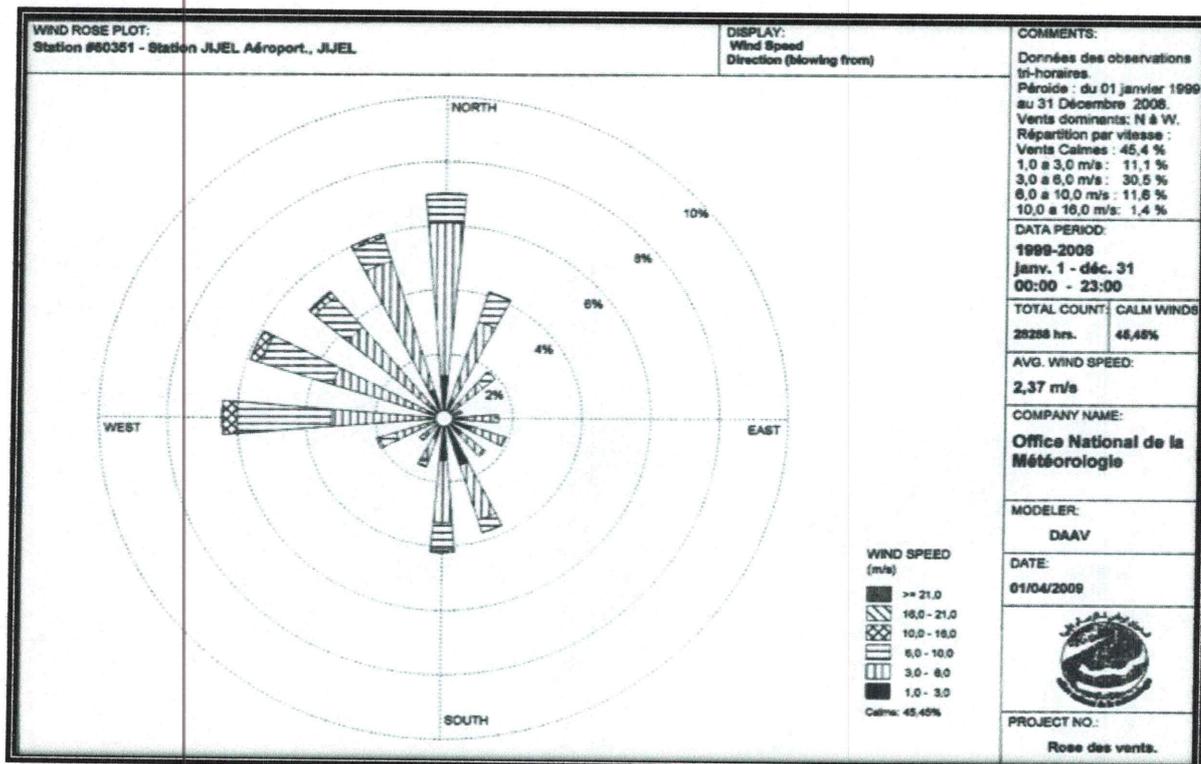


Figure 57: La rose des vents annuelle 1999 – 2008 relevée à la station météorologique de Jijel

Mois	jan.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sep.	oct.	nov.	déc.	année
Température minimale moyenne (°C)	2,9	3,6	6	9,1	13,1	16,5	19,1	18,7	15,7	12,4	7,2	3,9	10,8
Température moyenne (°C)	7,2	8,1	11	13,9	18	21,9	24,8	24,4	20,6	16,7	11,2	8	15,5
Température maximale moyenne (°C)	11,2	11,8	15,7	18,3	22,4	26,3	29,4	29,1	25,5	20,5	15	11,5	20,2
Record de froid (°C)	-12,4	-16,8	-10	-2,4	0	5,4	7,8	8,1	1	-2,2	-5,8	-12,8	-16,8
Record de chaleur (°C)	19,9	22,1	25,4	29,6	34,9	37,6	39,7	39,2	34,3	30,4	25,2	20,3	39,7
Nombre de jours avec gel	9,1	5,7	1,8	0	0	0	0	0	0	0	2,1	7,1	25,8
Nombre de jours avec température maximale ≥ 25 °C	0	0	0	1	8,7	21,5	29,5	29,1	18,2	3,4	0	0	111,4
Nombre de jours avec température maximale ≥ 30 °C	0	0	0	0	0,6	6,5	17,3	14,9	1,7	0,1	0	0	41,1
Nombre de jours avec température maximale ≥ 35 °C	0	0	0	0	0	0,2	0,9	0,9	0	0	0	0	2
Ensoleillement (h)	145,1	173,7	238,7	244,5	292,9	333,4	369,1	327,4	258,6	187,1	152,5	134,9	2 857,8
Record de vent (km/h)	130	122	130	119	101	115	112	162	137	119	112	119	162
Précipitations (mm)	48	31,4	30,4	54	41,1	24,5	9,2	31	77,1	67,2	55,7	45,8	515,4
Record de pluie en 24 h (mm)	63	54,2	41,2	65,7	62	43	51,6	85,6	96	161,3	64	52,3	161,3
dont nombre de jours avec précipitations ≥ 1 mm	6,5	6	5,5	5,3	4,9	3,5	1,6	3	3,6	5,8	5,1	6	56,8
dont nombre de jours avec précipitations ≥ 5 mm	2,7	3,1	2,8	2,7	2,2	1,7	0,9	1,4	2,2	3,3	2,9	2,9	28,8
Humidité relative (%)	75	72	67	65	64	63	59	62	69	74	75	77	68,5
Nombre de jours avec neige	0,8	0,4	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,7	2,2
Nombre de jours d'orage	0,6	0,9	1	1,2	2	2,6	1,7	2,9	2,7	2,5	1,5	0,7	20,3
Nombre de jours avec brouillard	2,1	1,4	0,9	0,3	0,2	0	0,1	0	0,7	1,3	1,7	2,3	11

Source: [1], [2]

Figure 58 : Relevé météorologique de Marseille, Aéroport international de Marignane.

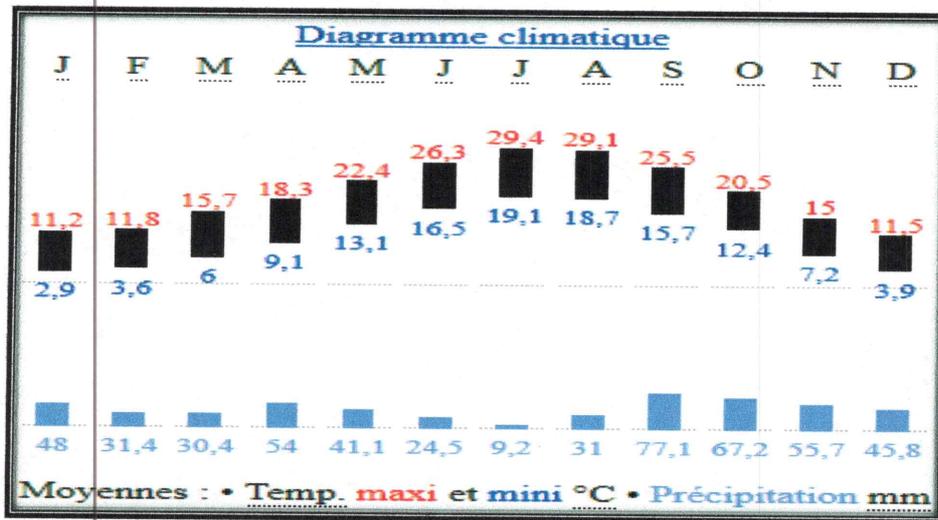


Figure 59 : Diagramme climatique de Marseille

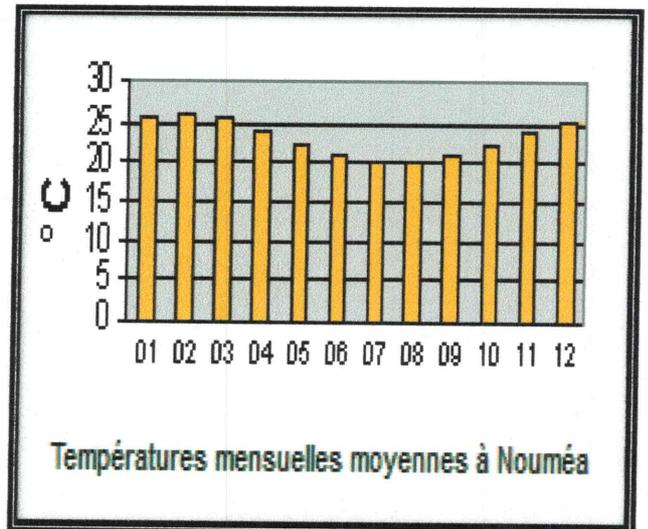
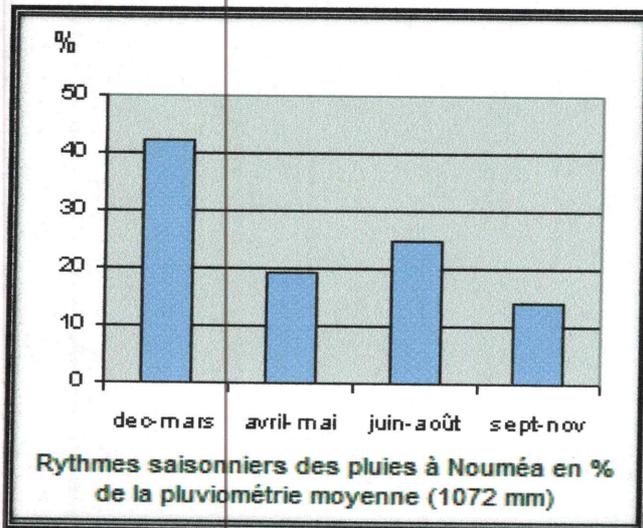


Figure 60: Diagramme des Données météorologiques moyennes pour la Nouvelle-Calédonie



*Liste des Photos des Figures
et Tableaux*

Liste des photos:

Photo 1 : Métabolisme de travail.....	11
Photo 2 : Métabolisme de repos	11
Photo 3 : Bâtiment ancien avec des murs épais.....	25
Photo 4 : Mise en œuvre d'un Isolant Par l'intérieur.....	30
Photo 5 : Isolation par l'extérieur d'une Maison en région lyonnaise.....	31
Photo 6 : Coupe d'un cadre de fenêtre en PVC.....	35
Photo 7: Double façade ventilée de la médiathèque de Mont de Marsan.....	37
Photo 8: Un canal de 50cm à 200cm	39
Photo 9: Un canal accessible dépassé 200cm (grand atrium).....	39
Photo 10: Un canal accessible de 200cm	39
Photo 11: Double façade ventilée de type multi-étage.....	44
Photo 12: Double façade ventilée à lamelle.....	44
Figure 13: Façade métallique double peau.....	46
Figure 14 : Façade double peau végétalistes.....	47
Photo 15 : Maison avec toit double peau décollé à lamelle de bois	48
Photo 16 : Façade double peau à lamelle de bois.....	48
Photo 17: L'architecte Rudy Ricciotti.....	52
Photo 18 : Une image de synthèse, réalisée par l'architecte Rudy Ricciotti, du M.U.C.E.M.....	53
Photo 19 : Photo aérienne avec l'emplacement du MUCEM.....	53
Photo 20: MuCEM de nuit, avec la passerelle.....	54
Photo 21: Panneau en BFUHP.....	55
Photo 22 : Les poteaux arborescents de façade nord et est.....	56
Photo 23 : MuCEM J4 et fort Saint-Jean - toit terrasse	57
Photo 24: la passerelle qui reliant le MuCEM de Au Fort Saint Jean	59

Liste des Photos, des Figures et Tableaux

Photo 25 : Une façade double peau du MuCEM.....	59
Photo 26: MuCEM de nuit.....	60
Photo 27: Jean-Marie Tjibaou.....	61
Photo 28 : L'architecte Renzo Piano.....	62
photo 29 : Le site de centre culturel de Tjibaou.....	62
Photo 30: Vue générale sur le site de centre culturel de Tjibaou.....	63
Photo 31 : Vue de haut sur le de centre culturel de Tjibaou.....	65
Photo 32 : Tubes structurels.....	67
Photo 33 : Fixation des lattes.....	67
Photo 34: Vue sur le toit En acier inoxydable d'une case.....	67
Photo 35 : Maquette d'étude du centre culturel de Tjibaou.....	68
Photo 36 : Vue panoramique de centre culturel dans sans contexte naturelle.....	69

Liste des figures

Figure 1 : Les gains thermiques internes d'un espace.....9

Figure 2: Le métabolisme humain.....10

Figure 3: Correspondances entre et PPD pour deux activité déférentes..... 11

Figure 4: L'interaction thermique entre le corps humain Et son environnement.....11

Figure 5 : Correspondances entre PMV et PPD..... 15

Figure 6 : Diagramme bioclimatique..... 18

Figure 7: Pertes de chaleur d'une maison individuelle non isolée.....23

Figure 8 : Pont thermique d'un Plancher.....24

Figure 9 : Les éléments à isoler dans une construction.....25

Figure 10 : L'isolation des combles selon le type d'emplacement de l'isolant.....26

Figure 11 : Combles perdus.....26

Figure 12: L'isolation d'un comble avec plancher.....27

Figure 13: L'isolation d'un comble Avec plancher.....27

Figure 14 : Comble habitable.....27

Figure 15 : L'isolation par panneaux.....28

Figure 16: L'isolation par insufflation.....28

Figure 17: Toi-terrasse.....28

Figure18:Les Défèrent types des planchers Dans une construction.....28

Figure 19 : Isolation d'un plancher sur terre plein.....29

Figure 20 : Isolation d'un plancher sur vide sanitaire.....29

Figure 21: Fixation d'un L'isolant et une contre-cloison maçonnée.....30

Figure 22: Panneau composite31

Figure 23 : Isolation par panneaux enduits32

Figure 24 : Isolation protégée par un bardage.....32

Figure 25 : Isolation par enduit isolant.....33

Liste des Photos, des Figures et Tableaux

Figure 26: Double vitrage à isolation renforcée.....	34
Figure 27: Les composants d'une façade double peau.....	38
Figure 28: Façade double peau et ces différents composants.....	40
Figure 29: L'emplacement d'un store vénitien Dans une FDP.....	40
Figure 30 : Principe de fonctionnement d'une FDP ventilée naturellement sur un niveau.....	42
Figure 31: Principe de fonctionnement d'une Façade double ventilée mécaniquement.....	42
Figure 32: Vue schématique du compartimentage Shaft-box vue en plan, coupe, et en élévation.....	45
Figure 33: Schéma représente les différentes modes de ventilation de la façade double peau.....	46
Figure 34 : Différents concepts de FDP ventilée en combinant les trois critères de classification....	47
Figure 35: Coupe verticale sur une FDP végétalistes.....	47
Figure 36 : mode de fonctionnement d'une façade double peau.....	49
Figure 37 : Une image de synthèse, réalisée par l'architecte Rudy Ricciotti, du M.U.C.E.M.....	54
Figure 38 : Situation du MuCEM.....	54
Figure 39: Coupe type du bâtiment selon l'axe Nord/Sud.....	54
Figure 40: Principe de structure.....	55
Figure 41: Principe de fondation de MuCEM.....	56
Figure 42: Détail de fixation de la résille sue les tangons	57
Figure 43 : Image de synthèse de quelques éléments Complexes du FDP.....	58
Figure 44: Plan de situation du Centre culturel Tjibaou.....	63
Figure 45: Croquis Renzo Piano De du Centre culturel Tjibaou.....	64
Figure 46 : Façade sud-est de centre culturel Tjibaou.....	65
Photo 47 : Structure à double couche.....	66
Figure 48 : Lattes de bois.....	66

Liste des tableaux

Tableau 1 : Paramètres influents sur la sensation de confort thermique	7
Tableau 2 : Valeurs de référence de température de l'air.....	8
Tableau 3 : Correspondances entre PMV et échelle des sensations thermiques.....	15
Tableau 4 : Valeur de α en fonction de la vitesse de l'air.....	16
Tableau 5 : Les données du diagramme bioclimatique.....	18

Abréviations et symboles

T_a : La température de l'air, ou température ambiante

Le PMV : Vote Moyen Prévisible.

Le PPD : le pourcentage prévisible d'insatisfaits

TOP : La température opérative

RT : La Réglementation Thermique

BBC : La Conception Basse Consommation

VMC : La Ventilation Mécanique Contrôlée

VIR : Le Double Vitrage A Isolation Renforcée

PVC : Polymère Du Chlorure De Vinyle

FDP : La Façade Double-Peau

VNI : Ventilation Naturelle Intelligente

S : Représente La Surface Des Orifices D'entrée

C : Est un coefficient dépendant du rapport des surfaces des orifices de sortie et d'entrée

h : Est la dénivellation entre les orifices de sortie et des orifices d'entrée

t[°] : Est la température moyenne à l'intérieur en °C

t : Est la température de l'air extérieur en °C

D : Le Débit d'air

GTC : Gestion Technique Centralisé

MuCEM : Le musée des Civilisations de l'Europe et de la Méditerranée

BFUP : Béton Fibré Ultra-haute Performance

PAC : Pompes A Chaleur

Résumé

Cette dernière décennie, nous assistons en Algérie à une réalisation multiple et intense des projets de constructions, qui ne sont malheureusement soumis à aucune exigence réglementaire sur le plan thermique et énergétique. Les paramètres de la conception sont d'ordre fonctionnel et architectural et la dimension énergétique du projet n'est toujours pas considérée comme significative, ce qui conduit à des bâtiments non confortables et énergivores.

Notre recherche est organisée autour de la thématique d'amélioration du confort thermique par les procédés passifs dans le but de dresser un premier état des lieux de leurs développements.

La lutte contre le gaspillage d'énergie passe par l'isolation thermique des bâtiments, et l'isolation efficace trop souvent négligée, alors que cette isolation permet de limiter drastiquement les pertes. C'est dans ce contexte que les constructions passives prennent toute leur importance.

Tous les fois dans le cadre de constructions neuves ou la réhabilitation de bâtiments les façades multiples double peau de plus en plus utilisée par des déferents matériaux, les choix de ces matériaux basé en principe sur plusieurs facteurs comme : le climat, pris en compte de l'environnementetc.

Aujourd'hui les techniques d'amélioration de ce confort sont diverses, et l'adaptation dans notre région passe par des analyses des études détaillées pour obtenir les meilleurs résultats.

Donc notre travail est orienté vert un axe qui chercher à élaborer des recommandations et orientations pour la réalisation des constructions assurant un confort thermique optimisé par une technique adéquate pour la ville de Jijel.

MOTS CLES : confort thermique, procédé passif, isolation thermique, double peau, économie d'énergie.

المخلص :

في العقد الماضي، شهدنا في الجزائر تضاعف مشاريع البناء و تعددها وهي للأسف لا تخضع لأية متطلبات تنظيمية في ما يخص المخطط الحراري الطاقوي . إن إعدادات التصميم تكون بترتيب وظيفي وهندسي، وبما أن البعد الطاقوي للمشروع لا يأخذ بعين الاعتبار، فإن هذا الأمر يؤدي إلى منشآت غير مريحة و كثيفة الاستهلاك للطاقة. لهذا يتمحور بحثنا حول موضوع تحسين الراحة الحرارية من خلال استعمال الطاقة المتجددة، من أجل إقامة حالة من التطور الأولي. إن محاربة هدر الطاقة يمر من خلال العزل الحراري للمباني، و العزل الفعال في كثير من الأحيان يتعرض للإهمال، في حين أن العزل يمكن أن يحد من الخسائر بشكل كبير. وفي هذا السياق تأخذ المباني المعتمدة على الطاقة المتجددة كل أولويتها.

في جميع الأحوال، سواء من خلال بناء مباني جديدة أو إعادة تأهيلها، فإن تقنية ازدواج غلاف الواجهة تستخدم بشكل متزايد بمواد مختلفة، و اختيار هذه المواد يرتكز أساسا على عدة عوامل مثل : المناخ، و الأخذ بعين الاعتبار المحيط ... الخ. اليوم تقنيات تحسين هذه الراحة متنوعة، و تكيف هذه الأخيرة في منطقتنا يمر عبر تحليل و دراسات مفصلة لتحقيق نتائج أفضل.

لذلك توجه عملنا باتجاه محور يسمي إلى استخلاص نصائح و توجيهات لتشديد المباني ذات راحة حرارية جيدة، مع تقنية سائمة لمدينة جيجل. كلمات البحث: الراحة الحرارية، طرق استعمال الطاقة المتجددة، العزل الحراري، الواجهة مزدوجة الغلاف، توفير الطاقة.

Abstract

In the last decade, we are seeing in Algeria to a multiple realization and intense construction projects, which are unfortunately not subject to any regulatory requirements on thermal and energy.

The design parameters are functional and architectural order and the energy dimension of the project is still considered significant, which leads to non-energy-intensive and comfortable building.

Our research is organized around the theme of thermal comfort improvement by the passive conduct in order to erect a first inventory of their developments.

The fight against energy waste through thermal insulation of buildings, and the efficient insulation too often overlooked, while this insulation can drastically limit the losses. It is in this context that passive constructions become important.

All times through new construction or rehabilitation of buildings multiple double-skin facades increasingly used by different materials, the choice of these materials in principle based on several factors such as: climate, considered the environment ... etc.

Today the techniques for improving this comfort are diverse, and adaptation in our region passes through analyzes detailed studies to hold better results.

So our work is oriented green axis which seeks to draw up a guide for the construction of buildings thermal comfort has adequate technical performance in the city of Jijel.

KEYWORDS

Thermal comfort, passive process, thermal insulation, the double skin, energy saving.