

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Mohamed Seddik Benyahia-Jijel  
Faculté des Sciences et de la Technologie

**Département d'Architecture**



Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de :  
**MASTER ACADEMIQUE**

Filière :  
**ARCHITECTURE**

Spécialité :  
**ARCHITECTURE ET TECHNOLOGIE**

Présenté par :  
**DJERAD Med Amin**  
**DJOUFELKIT Yasser**  
**BOUSSEBT Houssam**

**THEME :**  
**L'impact de l'enveloppe extérieure sur l'isolation  
thermique du bâtiment.**  
**(Cas d'étude : Lycée MAKHLOUF Hessnaoui à Jijel)**

Date de soutenance : 17/10/2017

Composition du Jury :

Samira BOUKETTA M.A.A, Université Mohamed Seddik Ben Yahia. Jijel. Président du jury.  
Ibtissem HALLAL M.A.A, Université Mohamed Seddik Ben Yahia. Jijel. Directeur de mémoire.  
Nour El Houda BOUHIDEL M.A.A, Université Mohamed Seddik Ben Yahia. Jijel. Membre du Jury.

## Table de matière

Remerciement	
<b>I.</b> Liste des abréviations	
<b>II.</b> Liste des figures	
<b>III.</b> Liste des photos	
<b>IV.</b> Liste des tableaux	
<b>V.</b> Liste des schémas	

### CHAPITRE INTRODUCTIF

Introduction générale .....	1
Problématique.....	2
Hypothèses .....	3
Méthodologie de recherche .....	3
Structure du mémoire .....	3

### PARTIE I : APPROCHE THEMATIQUE

#### Chapitre 01 : LA NOTION DU CONFORT THERMIQUE DU BATIMENT.

<b>Introduction.</b> .....	<b>5</b>
<b>1. Définition du confort thermique du bâtiment.....</b>	<b>5</b>
<b>2. L'environnement thermique du bâtiment. ....</b>	<b>6</b>
<b>3. Les facteurs influençant le confort thermique.....</b>	<b>6</b>
3.1. La forme (géométrie et conception).....	6
3.2. L'orientation du bâtiment .....	7
3.3. L'inertie thermique .....	7
3.4. Les ponts thermiques .....	7
3.5. Le coefficient de transmission thermique .....	9
3.6. La conductivité thermique .....	9
3.7 L'humidité relative de l'air .....	9
<b>4. L'approche statique de confort thermique.....</b>	<b>9</b>
4.1. L'aspect physiologique du confort thermique. ....	10
4.2. L'aspect physique du confort thermique. ....	10
4.3. L'aspect psychologique du confort thermique. ....	12
<b>5. Les facteurs d'inconfort thermique .....</b>	<b>13</b>

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.....	14
5.4. Effet de température du sol. ....	<b>14</b>
<b>6. L'évaluation du confort thermique. ....</b>	<b>14</b>
6.1 Indices pour l'évaluation de confort thermique .....	14
6.2 L'évaluation de confort thermique par les enquêtes in situ .....	17
6.3 L'évaluation de confort thermique par outils graphique .....	17
<b>Conclusion.....</b>	<b>19</b>

## **CHAPITRE 02 : LA NOTION DE L'ENVELOPPE EXTERIEURE DU BATIMENT**

<b>Introduction .....</b>	<b>20</b>
<b>1. Définition.....</b>	<b>20</b>
<b>2. Aperçu historique sur les enveloppes .....</b>	<b>21</b>
<b>3. Les fonctions de l'enveloppe.....</b>	<b>23</b>
3.1- Fonctions techniques.....	23
3.2-Fonctions esthétiques .....	26
3.3-Fonctions sociales-culturelles.....	26
<b>4. Typologie des enveloppes.....</b>	<b>26</b>
4.1 L'enveloppe verticale (façades) .....	26
4.1.1. Façades non porteuse.....	26
4.1.2. Façades porteuses.....	27
4.2 L'enveloppe horizontale (toiture) .....	27
4.2.1. Les toitures plates .....	28
4.2.2. Les toitures inclinées .....	29
<b>5. Les éléments rattachés .....</b>	<b>30</b>
5.1. Les revêtements des murs extérieurs.....	30
5.1.1. Les briquettes de parement.....	31
5.1.2. Le bardage.....	31
5.1.3. Les enduits de façade.....	31

5.1.4. Les peintures, lasures et lasures béton .....	32
5.1.5. Les pierres agrafées .....	32
5.1.6. Les fenêtres .....	32
5.2 Les Revêtements d'étanchéité pour toiture .....	33
5.2.1 Matériaux à base de bitume .....	33
5.2.2 Matériaux à base de hauts polymères.....	33
5.2.3 Matériaux pour écran par vapeur.....	34
<b>6. La résistance mécanique de l'enveloppe et sécurité contre la chute .....</b>	<b>34</b>
6.1 La résistance mécanique au vent, à la neige et au poids d l'eau.....	34
6.2. Les risque de chute et de chocs.....	34
<b>Conclusion.....</b>	<b>35</b>

## **CHAPITRE 03 : L'APPLICATION DES ENVELOPPES EXTERIEURES**

### **THERMIQUEMENT EFFICACES.**

<b>Introduction .....</b>	<b>36</b>
<b>1. Les déperditions thermiques d'un bâtiment .....</b>	<b>36</b>
<b>2. Les problèmes de l'isolation thermique .....</b>	<b>37</b>
<b>3. Stratégie des enveloppes .....</b>	<b>38</b>
3.1. Stratégie du chaud.....	38
3.2. Stratégie du froid.....	39
<b>4. Stratégie de production d'énergies solaire.....</b>	<b>41</b>
<b>5. Application et Solution technique .....</b>	<b>41</b>
5.1. La protection solaire.....	41
5.2. L'orientation optimale.....	42
5.3. L'isolation thermique du bâtiment.....	42
5.3. A. Isolation des dalles toitures.....	42
5.3. B. L'isolation des combles et toiture.....	44

5.3. C. L'isolation des murs par l'intérieur.....	47
5.3. D. L'isolation des murs par l'extérieur.....	48
5.3. E. L'isolation des parois vitrées : .....	50
5.4. Les panneaux solaires. (Exploitation et La production solaire) .....	52
5.4.1. Définition .....	52
5.4.2. Type des panneaux solaires.....	53
5.4.3. Intégration architecturale des panneaux solaire :.....	53
5.5. La façade double peau .....	55
5.5.1. Les composants de la façade de type double-peau .....	55
5.5.2. Les principaux types de FDP .....	57
5.5.3. Mode de fonctionnement des façades double peau :.....	57
<b>Conclusion.....</b>	<b>59</b>

## **PARTIE II : APPROCHE OPERATIONNELE**

### **CHAPITRE 04 : PRÉSENTATION DU CAS D'ÉTUDE.**

<b>Introduction.....</b>	<b>60</b>
<b>1- Présentation du site .....</b>	<b>60</b>
1.1. Présentation de la commune de « Jijel ».....	60
1.2. L'étude Climatologique : .....	61
1.2. a- Les températures : .....	61
1.2. b- L'humidité : .....	62
1.2. c- Le vent .....	62
1.2. d- Les précipitations :.....	63
1.2. e. L'évaporation :.....	63
<b>2- Présentation du cas d'étude .....</b>	<b>63</b>
2.1- Organisation et Orientation :.....	64
<b>3- Présentation de l'échantillon d'étude.....</b>	<b>64</b>
<b>4- Les critères d'analyse pour les classes.....</b>	<b>65</b>
4.1- La forme des salles de classe .....	66
4.2- Les façades : .....	66
4.3- Les matériaux de construction :.....	67
<b>5- La simulation .....</b>	<b>68</b>
5.1- Définition :.....	68

5.2- L'objectif de la simulation :	68
5.3- Les outils d'investigation :	68
5.3. a- Les logiciels de simulation. « ECOTECT » :	68
5.4- La méthodologie de la simulation	70
<b>Conclusion</b>	<b>70</b>

## **CHAPITRE 05 : ETUDE ET EVALUATION DES RESULTATS**

<b>Introduction</b>	<b>71</b>
<b>1. L'étude d'ombre et ensoleillement</b>	<b>71</b>
<b>2. Modèle de construction prévue pour la simulation</b>	<b>73</b>
2.1. Composition des éléments constructifs de l'enveloppe du modèle 01	73
2.2. Composition des éléments constructifs de l'enveloppe du modèle 02 (Proposé)	73
2.3. Composition des éléments constructifs de l'enveloppe du modèle 03 (Proposé)	74
<b>3. Interprétation des Résultats de simulation</b>	<b>75</b>
3.1. Model 01	75
3.2. Model 02	77
3.3. Model 03	78
<b>4. Synthèse</b>	<b>80</b>
<b>Conclusion</b>	<b>80</b>

<b>Conclusion générale</b>	<b>81</b>
----------------------------	-----------

### **Bibliographie**

**Annexe**

**Résumé**

**Abstract**

**ملخص**

# *Remerciements*

*Avec l'aide d'Allah Soubhanaho Wa Taala, j'ai pu accomplir ce modeste travail.*

*Je remercie en premier lieu Mme. **Halla**. I pour sa gentillesse, sa disponibilité, sa contribution générale à l'élaboration de ce travail de recherche.*

*A tous mes collègues du département d'architecture, qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail, qu'il trouve toute ma gratitude.*

*Je souhaiterai également remercier mes professeurs du département d'architecture et d'urbanisme de Jijel, les membres de jury qui ont accepté d'examiner le travail de recherche du présent mémoire. J'espère que leurs remarques, critiques, orientations et conseils me seront très utiles pour une continuité dans le processus de recherche.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

*Aux Personnes chères à mon cœur Mes parents*

*A ma mère , tu m'a donné la vie, la tendresse et le courage pour la réussite,  
Tout ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que  
je te porte.*

*A mon père, l'épaule solide, l'œil attentif compréhensif et la personne la plus  
digne de mon estime et de mon respect,*

*Aucun dédicace ne saurait exprimer mes sentiments, que dieu vous préserve et  
vous procure santé et longue vie.*

*A mes très cher Sœurs **Mina et Kachine** , A **N.Ch** , A mes amis et A tous ceux  
que j'estime et que j'aime.*

*Med. Amine*

# *Remerciements*

*Tout d'abord, nous remercions ALLAH, le tout puissant pour son aide et pour nous avoir guidés pour mener à bien ce travail.*

*Nous tenons à remercier notre encadreur **Hassane Ibissem** pour l'honneur qu'il nous a fait de diriger ce mémoire .soyez assuré de notre respectueuse considération.*

*Nous tenons à remercier également les membres de jury pour le temps qu'ils ont consacré à l'évaluation de mon travail ainsi que pour les remarques constructives qu'ils ont pu me faire.. Soyez assuré de notre sincère gratitude.*

*Nos remerciements s'adressent à **Mr ROUIDI Tarik**, chef de département d'architecture, et à tous les enseignants de département d'architecture et d'urbanisme sans exceptions.*

*Un vif remerciement à nos familles pour nous avoir donné jour après jour autant d'amour, de soutien et d'encouragement.  
A tous qui nous ont aidé du loin ou du près.*

*A vous tous, nous vous remercions du fond du cœur.*

*Houssem*



# *Remerciements*

*Nous remercions avant tout DIEU le tout puissant de nous avoir aidé et de nous avoir permis de réaliser ce modeste travail.*

*Nous tenons d'abord à exprimer notre profonde gratitude et reconnaissance envers notre encadreur Mme Hallal, directrice de mémoire, et nous tenons à le remercier vivement pour ses orientations, remarques et directives.*

*Nous remercierons également les membres du jury d'avoir accepté d'examiner notre manuscrit et de nous encourager pour la suite de nos études.*

*Enfin, nos vifs remerciements sont adressés à l'ensemble de nos collègues du département d'architecture avec qui nous avons passé des moments inoubliables.*

*Aussi à toute personne qui a contribué à la réalisation de ce mémoire même avec un petit sourire.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

*Aux Personnes chères à mon cœur **Mes parents et ma famille***

*Et **A Azahi , Mino , Monire, Bekouze , Yaya , Zaki , Alo ,  
Amine , Amine DJ , Et tous mes amis .***

***Dj . Yasser (NB)***

## **I. Liste des abréviations :**

- HT** : Transmission par les parois, [W/m<sup>2</sup>]  
**HDS** : Déperditions surfaciques, [W/m<sup>2</sup>]  
**HDI** : Déperditions linéiques, [W/m<sup>2</sup>]  
**Hdp** : Déperditions ponctuelles dues aux ponts thermiques, [W/m<sup>2</sup>]  
**HU** : Transmission par les locaux non chauffés (LNC), [W/m<sup>2</sup>]  
**HS** : Transmission vers le sol, [W/m<sup>2</sup>]  
**HV** : Déperditions par renouvellement d'air, [W/m<sup>2</sup>]  
**Top** : la température opérative. (°C)  
**Ta** : La température d'air. (°C)  
**Tmrt** : La température d'aire. (°C)

## **II. Liste des Figures :**

Figure 1.1 : ponts thermiques dans une construction.....	<b>P08</b>
Figure 1.2 : le métabolisme humain.....	<b>P10</b>
Figure 1.3 : Correspondances entre température et PPD pour deux activités déférentes.....	<b>P11</b>
Figure 1.4 : modes de transfert de chaleur.....	<b>P12</b>
Figure 1.5 : Correspondances entre PMV et PPD.....	<b>P16</b>
Figure 1.6 : zone de confort selon le diagramme bioclimatique de GIVONI.....	<b>P18</b>
Figure 2.7 : Une hutte primitive.....	<b>P21</b>
Figure 2.8 : Mur-rideau et mur-panneau : principe constructif.....	<b>P27</b>
Figure 2.9 : de gauche à droite : -a-Détail toiture isolée, -b-Détail toiture non isolée, -c-Détail toiture inversée.....	<b>P28</b>
Figure 2.10 : Toiture en panneaux sandwich.....	<b>P29</b>
Figure 2.11 : Toiture Végétalisée.....	<b>P30</b>
Figure 2.12 : Principe d'un doublage extérieur en briques.....	<b>P31</b>
Figure 3.13 : Postes de déperditions d'un bâtiment.....	<b>P36</b>
Figure 3.14 : illustration des ponts thermiques de liaison.....	<b>P37</b>
Figure 3.15 : la stratégie du chaud.....	<b>P38</b>
Figure 3.16 : la stratégie d'hiver.....	<b>P39</b>
Figure 3.17 : la stratégie du froid.....	<b>P39</b>
Figure 3.18 : la stratégie d'été.....	<b>P40</b>
Figure 3.19 : dalles toiture classiques sans protection (a).....	<b>P42</b>
Figure 3.20 : dalles toiture classiques avec protection de l'étanchéité (b).....	<b>P42</b>
Figure 3.21 : Toiture inversée.....	<b>P43</b>

Figure 3.22 : Panneau léger.....	<b>P43</b>
Figure 3.23 : isolation extérieure compacte.....	<b>P44</b>
Figure 3.24 : l'isolation des combles selon le type d'emplacement de l'isolant.....	<b>P44</b>
Figure 3.25 : Comble perdus.....	<b>P45</b>
Figure 3.26 : L'isolation d'un comble Avec plancher.....	<b>P45</b>
Figure 3.27 : L'isolation d'un comble Avec plancher.....	<b>P45</b>
Figure 3.28 : comble habitable.....	<b>P46</b>
Figure 3.29 : l'isolation par panneaux.....	<b>P46</b>
Figure 3.30 : l'isolation par insufflation.....	<b>P46</b>
Figure 3.31 : Toit-terrasse.....	<b>P46</b>
Figure 3.32 : Mise en œuvre d'un isolant par l'intérieur.....	<b>P47</b>
Figure 3.33 : Fixation d'un isolant et une contre-cloison maçonnée.....	<b>P47</b>
Figure 3.34 : Panneau composite.....	<b>P48</b>
Figure 3.35 : isolation par l'extérieur d'une maison en région lyonnaise.....	<b>P48</b>
Figure 3.36 : isolation par panneaux enduits.....	<b>P49</b>
Figure 3.37 : isolation protégée par bardage.....	<b>P49</b>
Figure 3.38 : isolation par enduit isolant.....	<b>P49</b>
Figure 3.39 : double vitrage à isolation renforcée.....	<b>P51</b>
Figure 3.40 : Coupe d'un cadre de Fenêtre en PVC.....	<b>P51</b>
Figure 3.41 : Les différentes formes d'intégration des panneaux solaires au cadre bati.....	<b>P54</b>
Figure 3.42 : les composants d'une façade double peau.....	<b>P56</b>
Figure 3.43 : façade double peau et ces différents composants.....	<b>P56</b>
Figure 3.44 : mode de fonctionnement d'une façade double peau.....	<b>P58</b>
Figure 4.45 : communes de la wilaya de Jijel.....	<b>P60</b>
Figure 4.46 : Courbe d'évolution des températures moyennes mensuelles à Jijel (1999-2008).....	<b>P61</b>
Figure 4.47 : moyennes mensuelles de l'humidité absolue dans la ville de Jijel (1999-2008).....	<b>P62</b>
Figure 4.48 : Moyennes mensuelles de la vitesse du vent enregistrées en (m/s) à Jijel (1999-2008).....	<b>P62</b>
Figure 4.49 : Histogramme des précipitations à Jijel (1999-2008).....	<b>P63</b>
Figure 4.50 : situation du lycée MAKHLOUF Hessnaoui.....	<b>P63</b>
Figure 4.51 : délimitation du lycée MAKHLOUF Hessnaoui.....	<b>P64</b>
Figure 4.52 : Plan de masse du lycée MAKHLOUF Hessnaoui.....	<b>P65</b>

Figure 4.53 : l'emplacement des salles par rapport aux plans.....	<b>P66</b>
Figure 4.54 : Plan des salles de classe.....	<b>P66</b>
Figure 4.55 : vue en perspective aux façades des salles.....	<b>P66</b>
Figure 4.56 : la typologie des fenêtres.....	<b>P66</b>
Figure 4.57 : façade sud.....	<b>P67</b>
Figure 4.58 : les matériaux de construction du lycée MAKHLOUF Hessnaoui.....	<b>P67</b>
Figure 4.59 : Capture d'écran du logiciel ECOTECT <sup>2011</sup> .....	<b>P68</b>
Figure 5.60 : Diagramme solaire au 21 décembre pour le lycée MAKHLOUF Hessnaoui....	<b>P71</b>
Figure 5.61 : Diagramme solaire au 21 Juin pour le lycée MAKHLOUF Hessnaoui.....	<b>P71</b>
Figure 5.62 : La courbe d'évolution temporelle de la température intérieure de la salle le 21 mars .....	<b>P75</b>
Figure 5.63 : La courbe d'évolution temporelle de la température intérieure de la salle le 21 septembre .....	<b>P76</b>
Figure 5.64 : La courbe d'évolution temporelle de la température intérieure de la salle le 21 décembre .....	<b>P76</b>
Figure 5.65 : La courbe d'évolution temporelle de la température intérieure de la salle le 21 mars.....	<b>P77</b>
Figure 5.66 : La courbe d'évolution temporelle de la température intérieure de la salle le 21 septembre.....	<b>P77</b>
Figure 5.67 : La courbe d'évolution temporelle de la température intérieure de la salle le 21 décembre .....	<b>P78</b>
Figure 5.68 : La courbe d'évolution temporelle de la température intérieure de la salle le 21 mars.....	<b>P78</b>
Figure 5.69 : La courbe d'évolution temporelle de la température intérieure de la salle le 21 septembre .....	<b>P79</b>
Figure 5.70 : La courbe d'évolution temporelle de la température intérieure de la salle le 21 décembre .....	<b>P79</b>

### **III. Liste des Schémas :**

Schéma 4.1 : les critères d'analyse .....	<b>P65</b>
Schéma 4.2 : un résumé sur la méthodologie de cette simulation.....	<b>P70</b>

#### **IV. Liste des tableaux :**

Tableau 1.1 : Correspondances entre PMV et échelle des sensations thermiques.....	<b>P15</b>
Tableau 1.2 : valeur de a en fonction de la vitesse de l'air.....	<b>P17</b>
Tableau 4.3 : Les températures moyennes mensuelles à Jijel (1999-2008). ....	<b>P61</b>
Tableau 4.4 : L'humidité relative mensuelle à Jijel (1999-2008).....	<b>P62</b>
Tableau 4.5 : Les vitesses du vent mensuelles à Jijel (1999-2008).....	<b>P62</b>
Tableau 4.6 : les propriétés physique des matériaux de construction.....	<b>P67</b>
Tableau 5.7 : Etude l'ombre et d'ensoleillement.....	<b>P72</b>

#### **V. Liste des photos :**

Photo 1.1 : Métabolisme de travail.....	<b>P11</b>
Photo 1.2 : Métabolisme de repos.....	<b>P11</b>
Photo 2.3 : Le temple d'Héra.....	<b>P21</b>
Photo 2.4 : façade d'hôpital des Innocents.....	<b>P22</b>
Photo 2.5 : villa Savoye.....	<b>P22</b>
Photo 2.6 : musée du Vin.....	<b>P22</b>
Photo 2.7 : maison bioclimatique à Paraguay.....	<b>P22</b>
Photo 3.8 : Capteur solaire thermique à gauche et capteur solaire photovoltaïque à droite....	<b>P52</b>
Photo 3.9 : panneau solaire photovoltaïque.....	<b>P53</b>
Photo 3.10 : panneau solaire photovoltaïque.....	<b>P53</b>
Photo 3.11 : Double façade ventilée de la médiathèque de Mont de Marsan1.....	<b>P55</b>
Photo 4.12 : lycée MAKHLOUF Hessnaoui.....	<b>P63</b>



### Introduction Générale

A l'instar des autres êtres vivants, l'homme a toujours tenté de s'intégrer à son milieu. En effet l'écologie animale et végétale, plus tard l'écologie humaine ont démontré que les rapports que les êtres vivants entretiennent entre eux et avec leurs environnement sont important, pour développer le milieu dans lequel ils vivent. Contrairement à certaines espèces, le climat est l'un des facteurs de notre environnement que l'homme ne pouvait ignorer, car il n'a pas les moyens physiologiques suffisants pour s'adapter. Seulement, l'homme est doté d'une capacité d'innover, d'adapter l'environnement à ses besoins, c'est-à-dire se procurer des abris et modifier les conditions qui l'entoure. Quand l'homme ne peut plus se défendre physiologiquement contre les aléas du climat, la construction est sa seule défense.

A l'instar des autres pays du monde, les changements climatique ont introduit des défis majeurs pour l'Algérie. Le secteur du bâtiment est parmi les secteurs économiques le plus gros consommateur en énergie, hors que les récentes statistiques de consommation d'énergies en Algérie indiquent que la demande d'énergies et la consommation annuelles ont considérablement augmenté, ou les bâtiments (de secteur résidentiel ou publique) ont les plus grands impacts sur cette croissance, hors qu'à l'avenir, est prévue que la consommation des énergies susceptibles d'augmenter considérablement.

Afin de rendre les bâtiments performants et plus efficaces en terme de consommations d'énergies, de nombreuse technologies ont été développé, notamment pour l'isolation, la ventilation, le chauffage ... etc., ces techniques s'appliquent soit à la construction de bâtiment neuf, ou aussi même à la rénovation, la réhabilitation, des bâtiments existants, qu'ils s'agissent : des maisons individuelles, logements collectifs, bâtiments public ...etc.

Notamment, la consommation liée au chauffage représente l'équivalent de l'énergie consommé dans les transports ou par la totalité de l'industrie. Cela revient de l'importance donner à la notion du confort thermique, cette notion est difficile à appréhender étant donné son caractère subjectif. Mais, malgré tous, des méthodes sont ainsi développées pour définir, interpréter et optimiser les ambiances thermiques.

L'enveloppe du bâtiment est l'un des facteurs les plus majeurs qui participe à la création d'un micro climat qui satisfait les exigences du confort thermique pendant les quatre saisons mais doit faire en sorte que l'impact du bâtiment sur l'environnement soit minimisé.

Pour cela, et a la part de la conception architecturale, les architectes doivent prendre en considération l'intégration des techniques performantes à faible impact sur l'environnement et par la suite à haute qualité en matière du confort thermique et d'optimisation d'énergie.

A travers ce mémoire, Notre objectif consiste à chercher les moyens à assurer un niveau de confort thermique acceptable avec une consommation énergétique réduite à travers l'enveloppe extérieure du bâtiment.

### **Problématique d'étude**

L'adaptation des constructions au contexte climatique est nécessaire si l'on veut améliorer les conditions de vie et de travail de leurs occupants et diminuer ainsi les risques qui pèsent sur leur état de santé et leur productivité du fait de l'inconfort thermique généré à l'intérieur des bâtiments et particulièrement ceux relatifs à leur évolution libre. Cette adaptation passe par une meilleure connaissance des performances énergétiques de l'enveloppe du bâtiment et de ses composants.

Notre travail s'inscrit dans l'optique globale de recherche sur l'amélioration de l'aspect qualitatif, notamment le confort thermique dans les lieux d'éducation (écoles, lycées etc...) avec une diminution de la consommation énergétique. Ainsi, la problématique principale est liée à l'absence du confort thermique dans certaines constructions. Dès lors, les bâtiments du secteur de l'éducation se trouvent victimes d'une façon de faire qui ne reflète aucunement les aspirations de leurs occupants (les élèves) en termes de confort thermique, tout en ignorant les exigences climatiques, environnementales et économiques des régions dans lesquelles ils sont implantés.

En Algérie la plupart des constructions ne répondent pas aux exigences de confort en général et de confort thermique en particulier. Ce constat est renforcé par le non prise en charge des besoins thermiques, dans la conception dès le départ, de plusieurs critères à savoir, une conception architecturale qui s'adapte au climat, l'absence d'une réglementation spécifique, le manque de savoir-faire et une méconnaissance du sujet par les maîtres d'ouvrage.

La maîtrise de la notion de confort thermique du bâtiment nécessite une bonne maîtrise de la notion d'enveloppe et exige de présenter l'ensemble des techniques, matériaux, méthodes ainsi que les solutions et les pistes de réflexion qui s'intéressent à cette problématique. Ces solutions doivent être adaptées au climat local et aux techniques qui n'exigent pas une énergie pour leur fonctionnement et sans bousculer les habitudes constructives.

Par rapport à toutes ces réalités et constatations, les grandes questions qui méritent d'être posées sont :



- Quelle est la relation entre l'enveloppe extérieure d'un bâtiment et son confort thermique ?
- Quelles sont les stratégies de conception à adopter et les dispositions architecturales à utiliser pour assurer le confort thermique à l'intérieur du bâtiment recevant des élèves ?
- Peut-on optimiser le confort thermique d'un espace en utilisant une enveloppe extérieure performante ?

### Hypothèses de l'étude

Nous émettrons dans ce travail de recherche les hypothèses suivantes :

- ❖ Le choix réfléchi des opérations et des matériaux de construction qui compose l'enveloppe extérieure du bâtiment influe à la sensation du confort thermique à l'intérieur.
- ❖ Le confort thermique pourrait être maîtrisé dans des bâtiments à travers ses enveloppes extérieurs par le dispositif d'isolation thermique adéquate.
- ❖ Les logiciels de simulation est la meilleur solution possible pour étudier le comportement thermique des bâtiments.

### Méthodologie d'étude

Ce travail peut se scinder en deux parties complémentaires. La première partie est théorique et se présente sous la forme d'un état de l'art concernant à la fois la notion des enveloppes extérieures des bâtiments, la notion du confort thermique et celle des solutions théorique pour une efficacité thermique des enveloppes. L'objectif est également de rappeler les connaissances et les notions préliminaires.

La seconde partie est l'objet d'investigations d'ordre thermique sur une classe dans le lycée Makhlouf Hessnaoui situé à Jijel. Des relevés de température sont effectués au cours de des journées spécifique à l'aide de l'outil de simulation numérique «Ecotect Analysis 2011», nous avons mené une étude comparative des performances thermiques de trois types des enveloppes différentes par ses composition.

### Structure de mémoire

D'une manière plus détaillée, le contenu et la structuration de la présente de notre recherche sont développés dans un chapitre introductif et deux parties comme suit :

- **Un chapitre introductif** : comporte une introduction générale, une problématique, les hypothèses, la méthodologie de recherche et la structure de mémoire.

- **La première partie théorique** : consiste à la présentation et définitions des différents concepts et notions clés liés à notre thème de recherche, cela permet de donner une base théorique sur notre travail. Cette partie est répartie en trois chapitres :
  - ❖ **Le premier chapitre** : ce chapitre commence par une définition exhaustive du confort thermique et des grandeurs physiques qui permettent de caractériser l'environnement thermique des bâtiments.
  - ❖ **Le deuxième chapitre** : le second chapitre introduit la notion sur les enveloppes extérieures des bâtiments, ou nous avons analysée les informations existantes sur cette notion clé.
  - ❖ **Le troisième chapitre** : à ce chapitre nous avons arrivé à présenter des solutions convenables qui permettent d'assurer la performance thermique à travers les enveloppes extérieures.
- **La deuxième partie pratique** : elle se traduit dans deux chapitres :
  - ❖ **Le premier chapitre** : consiste à présenter le contexte global et réduit d'étude, la ville de Jijel et le lycée Mekhlouf hesnaoui. Le contexte global traite des caractéristiques géographiques et climatiques de la région de Jijel, L'échantillon d'étude traite la présentation du lycée et l'analyse des caractéristiques de la salle de classe, Aussi la présentation de l'outil numérique d'aide à la simulation.
  - ❖ **Le deuxième chapitre** : concerne l'interprétation des résultats relevés du logiciel, et la comparaison entre les modèles proposer, afin d'aboutir, à la fin de préciser l'impact de l'enveloppe extérieur et de tirer des recommandations d'aide à la conception des enveloppes thermiquement efficaces.

## Introduction

Le besoin de construire beaucoup, vite et pas cher, a engendré une rupture entre l'architecture et l'environnement le plus proche, alors qu'aujourd'hui on assiste à voir des édifices non-respectueuses à la bonne conception architecturale, et surtout par la suite à la non-maitrise des paramètres thermiques de l'enveloppe de l'édifice.

Le confort thermique, dans les espace de vie et de travail, constitue une demande reconnue et justifiée, à laquelle le concepteur doit apporter des solutions durables afin d'éviter toute opération de réhabilitation thermique prématurée.

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

## 1. Définition du confort thermique du bâtiment

Dans le dictionnaire Larousse on trouve :

**Confort** : ensemble des commodités, des agréments, qui produit le bien-être matériel, le bien être en résultant. <sup>1</sup>

**Thermique** : Relatif à la chaleur, à la température.

**Le confort thermique** exprime le bien être d'individus placés dans une ambiance en fonction de différents paramètres comme la température, l'humidité, la vitesse d'air, les échanges par rayonnement etc. <sup>2</sup>

« Ne pas avoir trop froid ni trop chaud ne pas sentir de courante d'air désagréable »<sup>3</sup>.

Il est plus facile de définir le confort thermique par la négative ; C'est-à-dire nous fait prendre conscience d'une ambiance thermique par la négative en précisant ce qui créer de l'inconfort et nous fait prendre conscience d'une ambiance thermique gênante. Le confort est donc plutôt le non inconfort<sup>4</sup>.

Comme W.RYBCZYNSKI dit « *il est plus simple d'évaluer le manque du confort que le confort* ».

<sup>1</sup> LAROUSSE <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/confort/18147> (Consulter le : 29-09-2017).

<sup>2</sup> Dictionnaire EXPAIR [http://www.xpair.com/dictionnaire/definition/confort\\_thermique.htm](http://www.xpair.com/dictionnaire/definition/confort_thermique.htm) (Consulter le : 29-09-2017)

<sup>3</sup> COURGEY.S et OLIVA, j-p ; 1979 ; « la conception bioclimatique » ; page 27.

<sup>4</sup> Ibid

K .Slater(1985) indique que « *le confort est un terme si nébuleux à définir, et si subjectif qu'un consensus universel sur son sens est presque impossible à obtenir* »<sup>5</sup>

« *Le confort thermique est le bilan équilibré entre les échanges thermiques du corps humain et de l'ambiance environnante*». <sup>6</sup>

Toutefois, il en précise les dimensions en le définissant comme étant un état agréable d'harmonie physique, physiologique, et psychologique, entre un être humain et l'environnement, Cet état agréable d'harmonie comme la précise la définition du dictionnaire pour le terme confort est l'état d'une personne qui exprime un sentiment de bien-être.

## **2. L'environnement thermique du bâtiment**

Le bilan énergétique est basé sur le fait que pratiquement toute l'énergie entrant dans le bâtiment finie par être transformée en chaleur. Etant donné qu'en moyenne, l'intérieur du bâtiment est à température constante, toute cette énergie passe tôt ou tard à l'extérieur de l'enveloppe.

Le bilan énergétique est une comptabilité des entrées et des sorties d'énergie d'un bâtiment pendant une période de temps donnée. Ce bilan doit évidemment être équilibré, par conservation de l'énergie. Le bilan énergétique résume donc toutes les pertes et tous les gains, les sommes des gains et des pertes étant égales si la période de consommation est suffisamment grande.

## **3. Les facteurs influençant le confort thermique**

### **3.1. La forme (géométrie, conception)**

Du point de vue de la consommation d'énergie, la forme optimale pour une construction est celle qui perd le minimum de chaleur pendant la saison de chauffe et en gagnant le minimum pendant la saison de surchauffe.

A ce titre, il faut souligner les performances thermiques indéniables que représentent la construction de forme compacte (elle présente un volume donné, un ratio de surface à volume réduit). Elle est plus économe en énergie qu'une forme "éclatée", puisque les déperditions sont proportionnelles à la surface d'échange entre l'intérieur chauffé et l'extérieur froid.

A travers son étude sur « l'impact des forces thermiques extérieures sur les bâtiments », V.OLGYAY a essayé de trouver la forme optimale, qui perd le minimum de chaleur en hiver, et en gagne le minimum en été, pour les différentes régions climatiques. Il a pu conclure que la forme optimale pour tous les climats, est celle rectangulaire, avec des proportions bien déterminées, et allongée dans l'axe EST-OUEST.

<sup>5</sup> HAMEL.K ; cours de confort thermique ; université de BISKRA ; département d'architecture

<sup>6</sup> [B. GIVONI 1978, M. EVANS 1980, S. SZOCOLAY 1980].

Les recommandations énoncées par V. OLGYAY, dans son livre « design with climat » résument les trois principes suivants :

- Le carré n'est pas la forme optimale quelle que soit la localisation de la construction.
- Toutes les formes allongées dans la direction Nord-sud sont moins efficaces que la forme carrée, aussi bien en hiver qu'en été.

Il existe une forme optimale générale donnant les meilleurs résultats dans chaque cas, et pour tous les climats, c'est la forme allongée dans la direction EST-OUEST.

### 3.2. L'orientation du bâtiment

L'orientation d'un bâtiment est la direction vers laquelle sont tournées ses façades.

C'est-à-dire la direction perpendiculaire à l'axe des blocs. Elle est désignée par celle de sa face principale, c'est-à-dire en générale celle qui comporte la plus grande surface de vitrage.

L'orientation est la disposition d'un bâtiment ou d'un aménagement urbain par rapport aux éléments d'un site ou au point cardinal<sup>7</sup>.

Le choix de l'orientation d'après GIVONI. B (1978) est soumis à de nombreuses considérations, telles que :

- La vue ; le bâtiment doit offrir des ouvertures sur les paysages existants.
- La position par rapport aux voies.
- La topographie du site.
- La position des sources des nuisances et la nature du climat (facteurs climatiques ; Les radiations solaires et le vent).<sup>8</sup>

### 3.3. L'inertie thermique

L'inertie thermique est une grandeur qui caractérise le retard et l'amortissement que subit une onde thermique avant d'atteindre l'intérieur. Elle est souvent représentée par la capacité thermique des matériaux constituant la paroi. L'inertie d'un matériau mesure sa capacité à accumuler de la chaleur et à différer la restitution après un certain temps (c'est le temps de déphasage).

### 3.4. Les ponts thermiques

Comme l'eau coule de haut en bas en passant par le chemin le plus facile, la chaleur « coule » des zones chaudes aux zones froides en suivant le chemin de moindre résistance thermique. La température baisse près des endroits présentant une moindre résistance thermique.

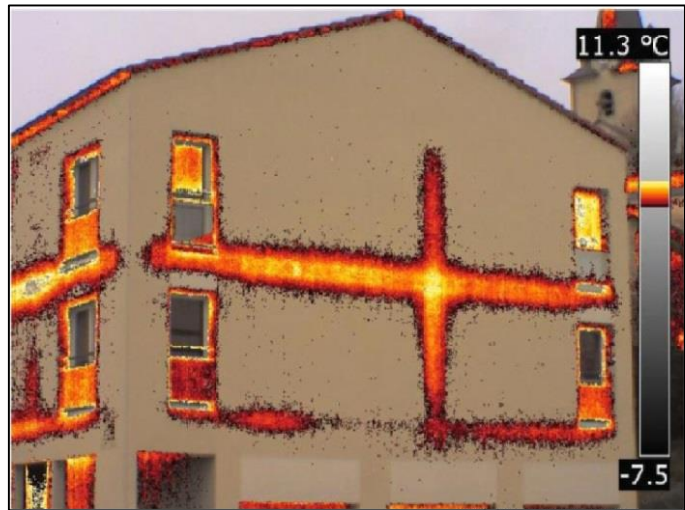
Les ponts thermiques sont les points faibles dans l'isolation thermique du bâtiment qui peuvent provoquer une perte d'énergie très élevée.

Ceux les plus fréquents sont :

<sup>7</sup>Roger Brunet, Robert Ferras et Hervé They « Les Mots de la géographie, dictionnaire critique » 1992, p 163

<sup>8</sup> Givoni .B, « l'homme, l'architecture et le climat », Edition moniteur, paris 1978.

- Réduction de la protection thermique aux raccords avec les fenêtres, les portes, les balcons et la toiture.
- Près des caissons de stores à rouleaux ou autres stores, l'isolation thermique est souvent insuffisante.
- Les éléments de construction extérieurs (Par ex. les balcons) qui sont souvent fixés avec des matériaux thermo conducteurs.



-Un pont thermique est constitué par toute discontinuité dans la couche isolante, par tout endroit où la résistance thermique présente une faiblesse. Au voisinage d'un pont thermique, les lignes de flux se resserrent : plus de chaleur passe par unité de surface. Les isothermes se déforment en s'écartant les unes des autres. Les lignes de flux restent néanmoins perpendiculaires aux isothermes.

**Figure 1.1** : ponts thermiques dans une construction.  
Source : <http://www.pont-thermique.fr/>

-On distingue les ponts thermiques géométriques tels que les angles et les coins, et les ponts thermiques matériels, dans lesquels un matériau conducteur de la chaleur traverse la couche isolante, on classe aussi les ponts thermiques en :

- Ponts linéaires ; Qui ont une certaine longueur. Les plus courants sont dus à la Jonction entre les planchers (bas, haut, intermédiaire) et le mur extérieur, entre dalle et balcon ou entre le mur de refend et le mur extérieur.
- Les ponts ponctuels dans lesquels l'interruption de toute la courbure dans la couche isolante ou dans la paroi constitue un pont thermique géométrique.

Les ponts géométriques thermique n'ont pas en général d'effets important, notamment sur les déperditions, parce que la couche isolante n'est pas interrompue, elle n'est que déformée les ponts thermiques matériels se trouvent à tout endroit où la couche isolante est interrompus ou traversée par un matériau plus conducteur.

-Les ponts thermiques ne causent pas seulement des pertes de chaleur inutiles, mais peuvent être sources de dégâts : moisissures, poussière... etc. Résultant de l'abaissement de la température superficielle intérieure.

Les ponts thermiques ont aussi l'inconvénient de refroidir la surface intérieure.

En résumé, les ponts thermiques Perdent de chaleur et refroidissent les surfaces intérieures et augmentent le risque de moisissures.

### 3.5. Le coefficient de transmission thermique (U)

La capacité d'un vitrage à s'opposer à la fuite des calories est exprimée par le coefficient de transmission thermique. Symbolisé par la lettre «U» (anciennement K). Elle est exprimée en watts par mètre carré Kelvin ( $W/m^2.K$ ). Plus le coefficient de transmission thermique est faible, plus le vitrage est isolant.

L'amélioration de ce coefficient de transmission se fait grâce à une ou plusieurs des solutions suivantes :

- en doublant, voire triplant le vitrage, et augmentant l'épaisseur de la lame d'air qui les sépare.
- En revêtant une des faces du verre intérieur d'une couche à faible émissivité (film métallique réfléchissant la chaleur).
- En remplaçant l'air entre les vitrages par un gaz plus lourd que lui comme l'argon ou le Krypton pour diminuer les effets de la convection<sup>9</sup>.

### 3.6. La conductivité thermique ( $\lambda$ )

La conductivité thermique est la propriété qu'ont les matériaux de transmettre la chaleur par conduction. Symbolisée par le coefficient ( $\lambda$ ) lambda, elle est exprimée en watt par mètre Kelvin ( $W/m.K$ ) ; Plus la conductivité thermique d'un matériau est faible, plus il sera isolant.

### 3.7. 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<sup>10</sup>, le corps est la plupart en situation de l'inconfort.

## 4. L'approche statique de confort thermique

Elle 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

<sup>9</sup> Mémoire master en architecture, option : architecture et technologie « étude du confort thermique dans les équipements administratifs de la période coloniale. » université de Jijel 2015, p29

<sup>10</sup> Salamon, t et Bedel,S, « la maison des (méga) watts, le guide malin de l'énergie chez soi ». Ed. Terre vivante. Mens 2004. P 25.

transfert de chaleur (conduction, convection, rayonnement.) et de masse (perspiration, transpiration).

#### 4.1. L'aspect physiologique du confort thermique

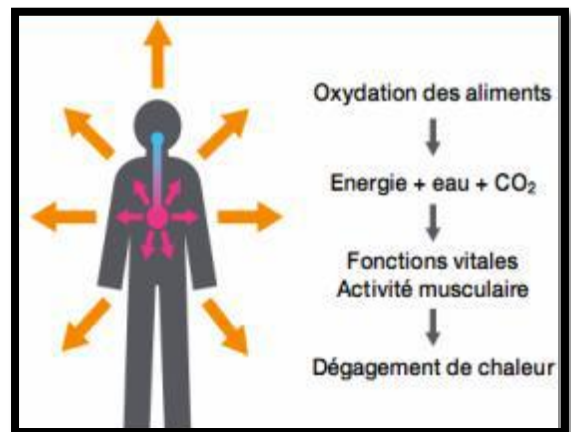
L'homme comme tous les mammifères est **homéotherme** ce qui signifie qu'il dispose d'un système dynamique de régulation de sa propre température par des échanges de chaleurs internes et externes du corps. En effet, la température du corps humain doit être comprise entre 36.8°C et 37.2°C pour un individu au repos, et entre 37°C et 37,5°C pour un individu en action. Au-dessous de 36.5°C et au-dessus de 37.5°C le corps est en situation d'inconfort généralisée.<sup>11</sup>

#### 4.2. L'aspect physique du confort thermique

Le maintien de la température interne du corps humain autour de 37°C° nécessite un équilibre thermique avec son environnement. Pour cela, la chaleur produite à l'intérieur du corps humain et véhiculée à sa surface cutanée doit être compensée par des déperditions de chaleur dans l'environnement. Si la chaleur produite dans le corps dépasse celle perdue à l'environnement le corps réchauffe, sa température interne s'élève et dans le cas inverse il se refroidit avec un abaissement de sa température interne.

##### A. 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. C'est une grandeur toujours positive non nulle, L'activité métabolisme minimale vitale est évaluée à **0.7 Met**, cette valeur est en fonction des paramètres physiologiques, notamment le poids, la taille, et le sexe.



Selon Pierre Fernandez, on peut distinguer trois niveaux de métabolisme<sup>12</sup> :

- Métabolisme de base : nécessaire à la vie, il concerne la position couchée à jeun. Pour une personne **normalisée**,

Ce métabolisme est de l'ordre de **75W**.

**Figure 1.2** : le métabolisme humain.  
Source : MAZARI. M, 2012

<sup>11</sup> Cahier du CSTB, « le confort thermique : motivation et comportement des habitants ». Vol 266 cahier n°2054.1986. p23

<sup>12</sup> Fernandez. P, et Lavigne. P. « concevoir des bâtiments bioclimatique, fondement et méthodes ». Le moniteur, 2009, p93



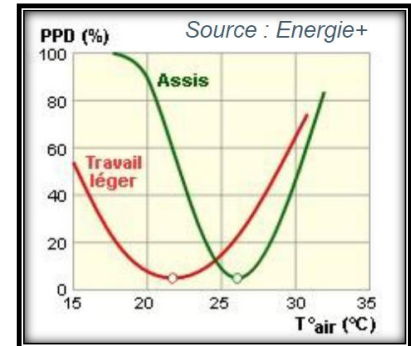
- Métabolisme de repos : c'est la chaleur minimale produite dans des conditions pratiques de repos du corps, par exemple en position assise, ce métabolisme est de l'ordre de **105W**.
- Métabolisme de travail : il dépend de l'activité physique, comme exemple, le travail de bureau, ce métabolisme est de l'ordre **entre 105 et 140 W**.



**Photo 1.1 :** Métabolisme de travail  
**Source :**  
[www.confort.sauter.com](http://www.confort.sauter.com)



**Photo 1.2 :** Métabolisme de repos  
**Source :** [www. watchdek.com](http://www.watchdek.com)



**Figure 1.3 :** Correspondances entre température et PPD pour deux activités différentes.  
**Source :** [www.oxalis.asso.com](http://www.oxalis.asso.com)

## B. Les échanges thermiques du corps humains-environnement

Le corps humain en tant que système ouvert, est en interaction permanente avec son environnement via des échanges cutanés et respiratoires. La production de chaleur métabolique dans le corps peut être mise à profit d'une élévation de la température interne, ou bien être dissipée à l'extérieure.

L'habillement joue un rôle très important dans la manière dont sont ressentis les effets de ces échanges, qui se font suivant plusieurs mécanismes :

**-Par conduction :** au contact direct d'un corps plus chaud ou plus froid, par exemple quand on se lave les mains à l'eau chaude, ou que l'on marche pieds nus.

**-Par convection :** il s'agit des échanges de chaleur entre le corps et l'air ambiant, d'autant plus important que l'écart de température entre les deux est grand .la vitesse de l'air accentue ces échanges.

**-Par évaporation :** en passant de l'état liquide à l'état gazeux, l'eau absorbe des calories. La transpiration, rafraîchit la surface de la peau.

**-Par rayonnement :** ce sont les échanges de rayonnement infrarouge entre le corps et les parois, qu'elle soit froides (une vitre simple en hiver absorbe la chaleur du Corps) ou chaudes (un mur chauffé par le soleil réchauffe le corps, de même sans le toucher).

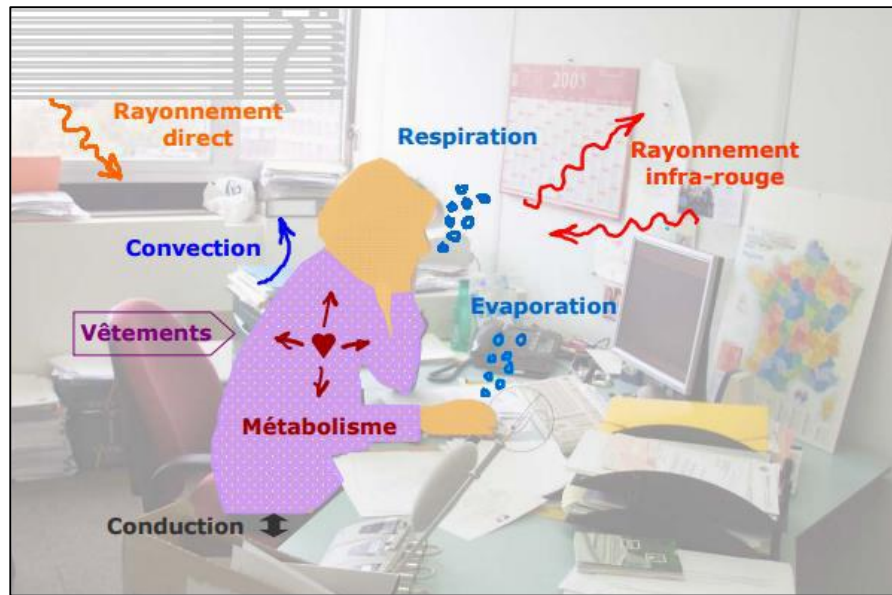


Figure 1.4 : modes de transfert de chaleur.  
Source : MAZARI. M, 2012.

### 4.3. L'aspect psychologique du confort thermique

La sensation que chacun peut avoir du confort dépend de nombreux paramètres intrinsèques à l'individu tels que ; l'âge, le sexe, le poids, la fatigue et l'état de santé auxquelles s'ajoutent les facteurs socioculturels<sup>13</sup>. D'autres paramètres liés davantage à l'ambiance générale dans le locale où se trouve l'individu, comme la couleur par exemple<sup>14</sup>.

#### A. L'approche adaptative du confort thermique

L'approche adaptative considère que les personnes ne sont pas passives vis-à-vis leurs environnement intérieur, mais jouent un rôle actif dans le maintien de leur confort thermique<sup>15</sup>, c'est-à-dire que l'homme est homéotherme. Il dispose d'un système de thermorégulation qui lui permet de régler les échanges de chaleur avec son environnement en exerçant des réactions conscientes (adaptation comportementale) et inconscientes (vasomotricité, frisson et sudation) Humphrey 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 ».*<sup>16</sup>

#### B. Adaptation comportementale d'ajustement

C'est la capacité de l'individu d'agir sur son environnement pour retrouver une situation de confort thermique ; l'individu est l'acteur de son environnement.

<sup>13</sup> Courgey, S et Olivia, J.P, « la conception bioclimatique, des maisons confortables et économe », Edition terre vivante, 2010, p31

<sup>14</sup> Cordier, N ; thèse de doctorat, « développement et évaluation de stratégie de contrôle de ventilation appliquées aux locaux de grandes dimensions », institut national des sciences appliquées de Lyon 2007.

<sup>15</sup> Hugues, Boivin, « la ventilation naturelle développement d'un outil d'évaluation du potentiel de la climatisation passive et d'aide à la conception architecturale », 2007, p103.

<sup>16</sup> NICHOL. F, HEMPHREYS. M, « derivation of the adaptive equation of thermal comfort in free-running buildings in European Standard cite » cite in Grignon-masse, L2010, p.57

Nous distinguons deux formes d'adaptation comportementale<sup>17</sup> :

- **Personnelle** : l'adaptation se fait par le changement des paramètres de confort liés à l'individu (vêtue, activité) ou par d'autre comportement (changement de lieu, prendre une boisson chaud ou froid...).

- **Environnementale ou technologique** : l'occupant intervient sur son ambiance par le contrôle manuel des installations (ouvrir ou fermer une fenêtre, mise en marche d'un ventilateur...).

- **Végétative** : le système de thermorégulation végétative assure la régulation dynamique de la température du corps humain, système passif régulé, qui est sujet aux échanges de chaleur et de masse. Les variables contrôlées sont la température interne et la température cutanée.

« *Le système de thermorégulation peut être décomposé ainsi en trois parties : les thermorécepteurs (capteurs), le contrôleur et les actionneurs* ». (Candas, 1998, Thellier, 1989).

## 5. Les facteurs d'inconfort thermique

### 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'ambiant.

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.<sup>18</sup>

### 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).

<sup>17</sup> Richieri, Fabrice. « Développement et paramétrage de contrôleurs d'ambiance multicritères », thèse soutenue à l'institut national des sciences appliquées de Lyon, 2008.p302.

<sup>18</sup> Corinne, M, « Travail à la chaleur et confort thermique » Les notes scientifiques et technique de l'INRS, NST184, décembre 1999.

### 5.3. Effet de gradient thermique vertical de l'air

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)<sup>19</sup>.

### 5.4. Effet de 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,<sup>20</sup> « 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.

## 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<sup>21</sup>. 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 thermiques, 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.<sup>22</sup>

### 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.

<sup>19</sup> Vogt J.J. « confort physiologique. Technique de l'ingénieur ». B2180.1995.p10.

<sup>20</sup> Olsen B W, « thermal comfort requirement for floors and thermal comfort », cite in : Mansouri Y. (2003), p273.

<sup>21</sup> Texier, N. « de la notion de confort à la notion d'ambiance » revue du laboratoire cresson de l'école d'architecture de Grenoble et CNRS ambiances architecturales et urbaines, France.2007

<sup>22</sup> MAZARI .M. mémoire de magister en architecture, option : étude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public : cas du département d'architecture de Tamda (TIZI-OUZOU), université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou ,2012.p19.

### 6.1.1 Les indices PMV et PPD

A 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 références à une échelle de sensation thermique.

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

**Tableau 1.1** : 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<sup>23</sup>.

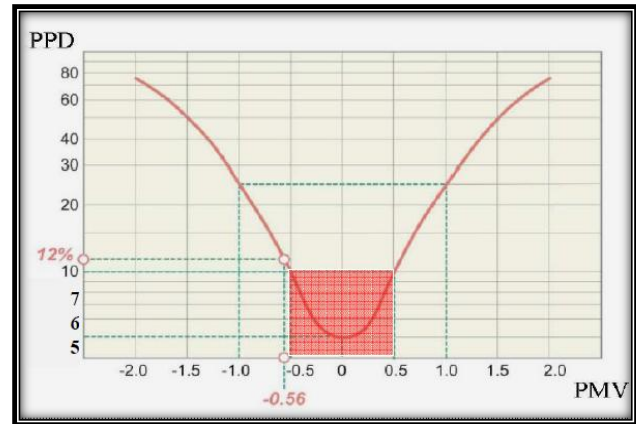
#### ❖ Le PPD(le pourcentage prévisible d'insatisfaits)

Selon W. Rybczynski :<sup>24</sup> « *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.

<sup>23</sup> MAZARI .M. mémoire de magister en architecture, option : étude et évaluation du confort thermique des bâtiments a caractère public : cas du département d'architecture de Tamda (TIZI-OUZOU), université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou ,2012.p20

<sup>24</sup> Hamel khalissa, « Confort Thermique », Département d'architectur de l'université de Biskra, Master 1 Architectur et Environement, Cours N° 1.

- ✓ 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, on peut noter :



**Figure 1.5 :** 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.

### 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<sup>25</sup>.

### 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<sup>26</sup>.

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

<sup>25</sup> MAZARI .M. (2012) op cit p21

<sup>26</sup> Cordier, N, (2007) op cit, p 62

**Tableau 1.2 :** 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
<b><math>a</math> : coefficient</b>	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 et 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 thermiques, il y a des tentatives qui ont été effectuées pour combiner les facteurs environnementaux sous forme d'outils graphiques (diagramme bioclimatique) qui permettent de ramener les conditions intérieures dans la zone de confort ou le plus proche possible de cette zone. En 1953 le premier « diagramme bioclimatique » a été proposé par V. OLGAY. Aussi les tables de MAHONEY, diagramme de GIVONI, de SZOLOKEY.....etc.

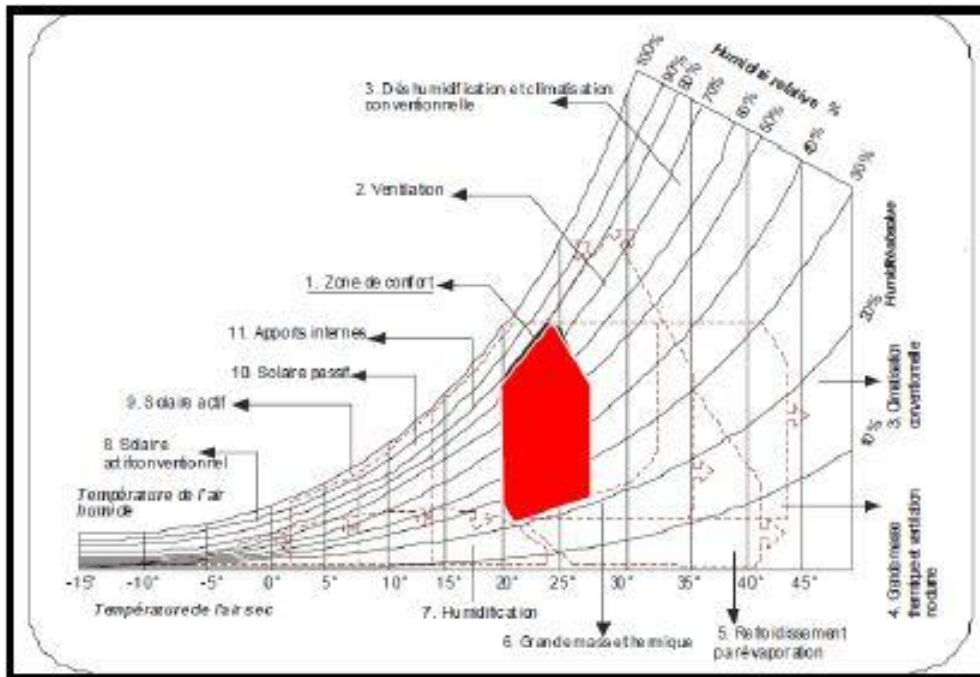
#### Définition des diagrammes bioclimatiques

Le diagramme bioclimatique est un outil d'aide à la décision globale d'un projet, permettant d'établir le degré de nécessité de mise en œuvre de grandes options telles que ; l'inertie thermique, la ventilation généralisée, le refroidissement évaporatif, puis le chauffage

ou la climatisation, il est construit sur un diagramme psychométrique (appelé aussi : diagramme de l'air humide).

### Diagramme de GIVONI

GIVONI définit le confort en considérant la personne en état d'activité, par l'intermédiaire de son diagramme bioclimatique, il a prouvé qu'avec l'application des concepts de l'architecture, l'effet de variation climatique de l'environnement extérieur peut être réduit au minimum.



**Figure 1.6 :** zone de confort selon le diagramme bioclimatique de GIVONI.

Source : MAZARI M.2012

### Tables de MAHONEY

Les tables de Mahoney sont une série de tableaux de référence d'architecture, sont utilisées comme guide pour analyser les bâtiments en utilisant les conditions climatiques. Ils sont constitués d'une suite de 06 tableaux. Quatre sont utilisés pour entrer les données climatiques (température, humidité, comparaison des limites de confort et du climat, indicateurs). Les deux autres tableaux indiquent les recommandations architecturales à respecter telles que la forme et l'orientation du bâtiment, les dimensions et l'exposition des ouvertures....etc.

En fonction des données climatiques du site d'intervention, les tables de Mahoney aident l'architecte à prendre les meilleures décisions en phase d'esquisse.



### Diagramme de SZOCOLAY

S. V. SZOCOLAY a mis, une nouvelle méthode bioclimatique qui ressemble à celle de GIVONI, où l'élaboration de la zone neutre est déterminée avec plus d'exactitude et les zones propres à chaque région, selon les données météorologiques.<sup>27</sup>

### Conclusion

Les facteurs influant les conditions thermique des bâtiments se regroupent principalement en deux paramètres, ceux qui sont liée aux conditions climatiques extérieurs et ceux qui sont liés à la conception du bâtiment. Par ailleurs, le corps humain pour assurer son équilibre thermique, réagit par un ensemble de réactions qui lui permettent de contrôler ses échanges avec son environnement afin d'assurer son confort, l'étude du confort thermique doit être menée en considérant ces différents aspects.

La nécessité d'évaluer les niveaux de confort dans les bâtiments a conduit à développer plusieurs méthodes. Ces dernières ont d'abord été abordées à travers des indices de confort déterminés par des expérimentations et des mesures. Suit aux indices thermique, des tentatives ont été effectuées pour combiner les facteurs environnementaux sous forme d'outils graphiques et plus tard sous forme numériques.

De par tous les outils précités, les enquêtes in situ sur lesquelles reposera notre travail d'investigation, constituent l'un des moyens les plus privilégiés d'évaluation, leurs avantage est qu'elles soient basées sur la synthèse de tous les facteurs du confort thermique et donc tiennent compte de sa complexité.

---

<sup>27</sup> MAZARI .M. (2012) op cit p31

## Introduction

Le discours sur l'enveloppe du bâtiment est relativement récent .Ce n'est qu'au XIX<sup>e</sup> siècle que le concept de l'enveloppe est développé et qui il est introduit dans la théorie architecturale. L'acception couramment retenue aujourd'hui en fait une sorte de peau-séparant l'extérieur, considéré comme hostile, de l'intérieur du bâtiment

Dans l'effort de création d'une ambiance de confort intérieur l'enveloppe filtre et organise les sons, la lumière et les couleurs, l'ensoleillement et l'ombre, les vue le chaud et le froid .Cet épiderme doit contribuer à rendre l'intérieur confortable<sup>28</sup>.

### 1. Définition

L'enveloppe du bâtiment : elle est définie, à l'article 2/7 de la directive n° 2010/31/UE du 19 mai 2010 comme « les éléments intégrés d'un bâtiment qui séparent son intérieur de son environnement extérieur ».

Selon Pierre HERANT l'enveloppe d'un bâtiment peut être une limite, une frontière séparant des milieux différents. Mais cette définition est trop restrictive. L'enveloppe est en effet beaucoup plus que cela pour un bâtiment ; Il peut être une interface une zone de liaison, un espace de transition entre différents milieux. Cette définition pour lui semble beaucoup plus adaptée et correspond mieux, donc l'enveloppe du bâtiment peut être considérée sous différents aspects :

- Pour le thermicien, c'est une zone de transition entre une ambiance intérieure et un environnement extérieur.
- Pour l'architecte, c'est une surface de contact entre le bâtiment et l'environnement.
- Pour l'ingénieur, c'est le point de liaison entre des composants passifs et des systèmes actifs.
- Pour le chef de projet c'est l'objet sur lequel il va coordonner les interventions de différents corps de métier, depuis le concepteur jusqu'aux ouvriers.
- Pour le législateur, c'est un des éléments caractéristiques du bâtiment pour lequel il cherchera à rapprocher le plus possible les technologies performantes disponibles et des exigences réglementaires généralisables. Et pour l'occupant enfin, ces parois qui l'entourent sont des éléments de confort thermique et visuel et constituent un facteur d'esthétique de son bâtiment<sup>29</sup>.

---

<sup>28</sup> « Anatomie de l'enveloppe des bâtiments Imprimerie » Hérissé à Evreux N° d'impression : 78367, dépôt légal : octobre 1997

<sup>29</sup> Herant. P, (2004) congrès sous titre « *Bâtiment 2010 consacrée à l'enveloppe du bâtiment* », France, [en ligne]

## 2. Aperçu historique sur l'enveloppe

La première forme de l'enveloppe qu'a connu l'homme est le corps maternel, consacré à protéger le fœtus du monde extérieur jusqu'à sa naissance, en exprimant un passage du dedans vers le dehors où il s'y trouve exposé aux agressions extérieures. Pour l'homme, la sensation du besoin de protection et de recherche d'un refuge est congénitale.

En effet, l'être humain a connu plusieurs mutations à travers le temps et l'espace, où chaque époque a marqué son style architectural qui se traduit au niveau de la peau extérieure de ces productions qui reflétaient son cadre de vie. On peut dire que l'enveloppe architecturale représente le miroir du tissu historique dont chacune de ses formes, fait référence à une période précise.

### 2.1. L'enveloppe primitive

La première forme d'enveloppe qui se traduit par un habitat trouvé, opportun, que l'homme n'a pas construit, mais qu'il a découvert. Ce lieu abri trouve dans la nature qui peut être une caverne, un creux, une grotte<sup>30</sup>. Ensuite, l'homme primitive commença à se créer son enveloppe de vie lui-même.

Les types d'enveloppe dans cette période sont :

L'enveloppe primitive minérale : qui prend un aspect protecteur, exploitée dans les cavités rocheuses, où les volumes sont creusés dans la masse.

L'enveloppe végétale : elle prend un aspect de camouflage, utilise les treillis de branches, de feuilles et d'herbes.

L'enveloppe animale : une forme d'habillage où l'homme réutilise la peau des bêtes qu'il chasse pour envelopper son habitat.

### 2.2. L'enveloppe antique « gréco-romaine »

Nommé « l'enveloppe solide et utile » à cette période les matériaux étaient peu nombreux et les procédés constructifs simples. Les théâtres, les temples sont construits en bois, en argile et en pierre selon un dispositif simple se basant sur trois éléments constructifs essentiels : le mur, la colonne et la plate-bande.



**Figure 2.7 : Une hutte primitive**  
Source :<http://www.fossiliraptor.be/viedeshommes5.htm>



**Photo 2.3 : Le temple d'Héra**  
Source :<http://www.fossiliraptor.be/viedeshommes4.htm>

<sup>30</sup> <http://lespacedelentredeux.blogspot.com/> (consulté le 12/6/2017).

### 2.3. L'enveloppe de la renaissance

D'après Gottfried Semper<sup>31</sup> ; Les façades étaient couramment désolidarisées de l'édifice, ou même apposée devant un ancien bâtiment. Elles avaient alors seulement un rôle d'ornement. Ces façades sont basées sur des principes esthétiques supérieures, des concepts abstraits tels que la symétrie et la proportion, l'emploi d'une langue strictement réglementée ainsi que le système des ordres.



**Photo 2.4 :** façade d'hôpital des Innocents.

**Source :** <http://www.fossiliraptor.be/viedeshommes4.htm>

### 2.4. L'enveloppe dans la révolution industrielle

La période de révolution industrielle a entraîné de nouveaux matériaux et de nouveaux modes de production, dont la construction de serre est lancée, elle dématérialise l'enveloppe en réduisant au minimum sa fonction porteuse. Des structures filigranes sont conçues, pour un maximum d'ensoleillement.

### 2.5. L'enveloppe dans la période moderne et contemporaine

L'enveloppe moderne détermine la volonté des architectes d'associer la forme à la fonction sans s'intéresser au contexte (indépendante). Tandis que l'enveloppe contemporaine, exprime une diversité selon sa nature d'utilisation, ses matériaux et ses techniques utilisées (bois, vitrage intelligent, FDP...), constituant un modèle respectueux de l'environnement.



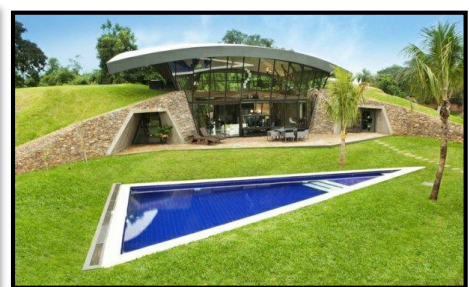
**Photo 2.5 :** villa Savoye

**Source :** <https://www.khanacademy.org/humanities/art-1010/architecture-20c/a/corbusier-savoye>



**Photo 2.6 :** musée du Vin

**Source :** <http://alltrends.overblog.net/article-projet-de-musee-du-vin-a-cerro-san-cristobal-84873507.htm>



**Photo 2.7 :** maison bioclimatique à Paraguay

**Source :** <https://www.construire-tendance.com/tag/paraguay/>

<sup>31</sup> Gottfried Semper, 1803-1879, architecte et théoricien allemand. Il publie « Der Stil » en 1860.

### 3. Les fonctions de l'enveloppe

L'enveloppe d'un bâtiment doit transcrire les agressions extérieures (climat local et de l'environnement) en confort intérieur pour ses occupants. Plus elle sera performante, plus les consommations énergétiques seront faibles.

#### 3.1 Fonction techniques

##### Structure :

Cette fonction est réalisée par les matériaux qui serviront de support aux autres matériaux des différentes fonctions. Les composantes doivent résister aux pressions des vents et des autres éléments et devra les transmettre à charpente de l'édifice.

Ils sont aussi des éléments essentiels à la structure porteuse (en permettant de transmettre aux fondations les charges fonctionnelles, leur poids propre, celui des dalles qu'ils portent tout comme les forces du vent grâce à l'effet de raidisseur assuré par leur masse.

Cette fonction est réalisée par un matériau qui diminue (retarde) le passage de l'humidité au travers l'enveloppe par diffusion. Ce matériau doit pouvoir résister au vieillissement durant toute la vie du bâtiment.<sup>32</sup>

##### Isolation thermique :

- Confort thermique d'hiver :

En hiver, l'enveloppe qui a pour rôle de limiter les déperditions calorifiques à travers le mur de l'intérieur chauffé vers l'extérieur froid.

- Confort thermique d'été :

En été, il s'agit d'assurer une protection des locaux contre les apports calorifiques de l'extérieur dus à l'ensoleillement.

##### Parement extérieur :

Cette fonction est réalisée par un matériau qui protégera les autres composantes de la détérioration par les éléments de la nature (soleil, eau, neige, vent, etc.) et autres.<sup>33</sup>

L'enveloppe peut remplir d'autres fonctions extérieures.

##### Dans la protection acoustique :

Cette fonction est généralement bien remplie par les parties pleines des façades, celles-ci ayant une épaisseur et une densité suffisantes pour affaiblir les bruits aériens

<sup>32</sup> <http://lespacedelentredeux.blogspot.com/> (consulté le 12/juin/2017).

<sup>4</sup>Mario. V, (2013), « *Les 6 fonctions de l'enveloppe* », Pétrone architecture, rapport [en ligne], <http://www.petronearchitecture.com/>, consulté le 18 juin 2017.

**Dans L'image (esthétique) :**

Les revêtements de l'enveloppe apportent une forte contribution à l'architecture des façades. Leur variété d'aspect et de texture permet ainsi de personnaliser l'extérieur d'un bâtiment soit en soulignant ou en renforçant certaines parties de façades soit, à l'inverse, en dissimulant la différence de constitution de parties du bâtiment en leur donnant un aspect identique, nivelant ainsi l'aspect général de la construction.<sup>34</sup>

**Pare-air :**

Cette fonction est réalisée par un matériau ou un assemblage qui diminuera le passage de l'air au travers de l'enveloppe du bâtiment selon les critères du code national du bâtiment 2005. Deux aspects sont à distinguer : l'étanchéité de la paroi à l'air (de l'extérieur vers l'intérieur) et la perméabilité de chacun de ses matériaux à l'air.<sup>35</sup>

**Par vapeur :**

Un pare-vapeur est un film parfaitement étanche qui protège de la vapeur. Ainsi, l'humidité présente dans l'air sous la forme de condensation ne peut pas traverser cet écran de protection.

La pose d'un pare-vapeur s'avère nécessaire avec certains matériaux isolants tels que la laine minérale ou la cellulose pour éviter que l'humidité ne pénètre dans la couche d'isolation. Ce type d'écran est parfois aussi utilisé pour protéger des structures de bâtiment contre l'humidité.

Cependant, un pare-vapeur n'est efficace que s'il est parfaitement posé. Cela signifie que tous les joints doivent être collés et que les jonctions avec d'autres éléments du bâtiment doivent être mastiquées.

Un pare-vapeur retient l'humidité présente dans l'air sous la forme de condensation, car elle ne peut pas le traverser. L'écran protège ainsi les matériaux qu'il recouvre contre les dégradations causées par l'humidité. Ceci est très important pour garantir le caractère isolant du matériau à protéger. Dans le cas d'une structure en bois, on évite ainsi que la pourriture ou les moisissures attaquent le bois.

---

<sup>34</sup> Ministère de l'équipement, Des transports du logement, du tourisme et de la mer, (2013), « *Mémento technique de bâtiment : les façades* », rapport, P.8-9, [en ligne] <http://www.cnrs.fr/aquitaine/IMG/pdf/Facades.pdf> consulter le 16 septembre 2017

<sup>35</sup> Mémoire de master en architecture option architecture et technologie « L'ENVELOPPE DU BATIMENT ET LES SYSTEMES USUELS ET INNOVANTS DE L'ISOLATION THERMIQUE » année : 2016 université de Jijel département d'architecture.

- Les différents types de pare-vapeur : Il existe plusieurs types de pare-vapeur.

- Le plus fréquemment utilisé est le film en polyéthylène.
- Pour les matériaux d'isolation, les feuilles d'aluminium ou films aluminés sont aussi souvent utilisés. Il n'y a qu'à voir les matelas à languettes ou les plaques isolantes recouverts d'un écran de ce type.
- Une couche bitumineuse constitue une dernière option.

Un pare-vapeur est surtout conseillé pour les toitures dotées d'une couche peu perméable à la vapeur d'eau. C'est le cas de la plupart des toitures, du toit incliné au toit plat. La pose de ce type d'écran se justifie aussi au plafond de cuisines et de salles de bain peu ventilées et en présence de murs extérieurs peu perméables à la vapeur, comme c'est le cas avec des briques émaillées.

En cas de doute sur la nécessité d'installer un pare-vapeur, il est toujours plus sûr de le poser tout de même. Le coût d'un pare-vapeur est en effet négligeable, mais sa présence peut éviter que l'investissement dans les matériaux de protection soit une pure perte.<sup>36</sup>

### **L'enveloppe extérieure et l'incendie :**

L'enveloppe fait partie de la structure (murs de façade porteurs, toiture-terrasse en béton, par exemple) et en tant que telle, elle est soumise à des exigences de stabilité au feu.

Les parements et revêtement intérieur de chaque ouvrage d'enveloppe dépendent de la réaction au feu.

Les enveloppes doivent surtout empêcher le passage d'un feu qui s'est déclaré soit dans le même immeuble, soit dans un immeuble voisin ou contigu. Le grand risque vient des baies vitrées qui risquent d'être ouvertes, et qui même fermées résistent peu à la chaleur.

En ce qui concerne les façades, les règlements font appel à cinq critères :

1. La réaction au feu des parements et revêtements extérieurs de la façade.
2. La somme des degrés coupe-feu de deux niveaux de façade superposés dans le cas notamment de deux façades opaques ou sans ouvertures. La somme des
3. La valeur pare-flamme, ou coupe-feu de la façade dans le cas de vis à vis et diverses contiguïtés.
4. Le potentiel calorifique, en MJ/m<sup>2</sup> de la façade dans le cas des IGH

<sup>36</sup> <https://www.energuide.be/fr/questions-reponses/quest-ce-quun-pare-vapeur/687/> consulter le 17/09/2017

Lorsqu'un incendie éclate, tout est en question de temps. Il faut prolonger suffisamment la durée pendant laquelle le bâtiment ne s'effondre pas. Ainsi les qualités « stable au feu », « par flamme », « coupe-feu » sont-elle définies en heurs par des essais normalisés. Ces qualités d'ouvrages ont une exigence croissante et cumulative.<sup>37</sup>

### 3.2. Fonctions esthétiques

La forme de l'enveloppe architecturale par son volume, ses façades ainsi que ses matériaux utilisés, détermine l'aspect esthétique du bâtiment, en révélant l'ensemble d'information, le style, et parfois la fonction qui caractérisent son image architecturale.

### 3.3- Fonctions sociales-culturelles

L'enveloppe et ses matériaux peuvent annoncer le statut social, culturel, religieux ou autre du propriétaire ou des utilisateurs qui se réfère à son mode de vie.<sup>38</sup>

## 4. Typologie des enveloppes

L'enveloppe d'une construction concerne toutes les parties qui sont en contact avec l'extérieur. Il s'agit essentiellement de la couverture et des façades.

### 4.1 L'enveloppe verticale (façades) :

Dans le langage courant, on décrit les murs extérieurs comme des façades ce qui fait apparait au premier plan une fonction du mur extérieur.<sup>39</sup>

Il convient de différencier les principaux types de façades rencontrés dans le domaine de la construction.

Dans un second temps, il convient de différencier les principaux types de façades rencontrés dans le domaine de la construction de logements.

#### 4.1.1 Façades non porteuses :

Les façades non porteuses, par définition, ne participent pas à la stabilité de l'édifice. On distinguera deux principaux types de façade non porteuses : les façades légères de type mur rideau ou mur panneau et les façades en remplissage maçonnés dont l'épaisseur ne saurait dépasser 15 cm.

<sup>37</sup> Anatomie de l'enveloppe des bâtiments Imprimerie Hérissey à Evreux N° d'impression : 78367, dépôt légal : octobre1997 page280

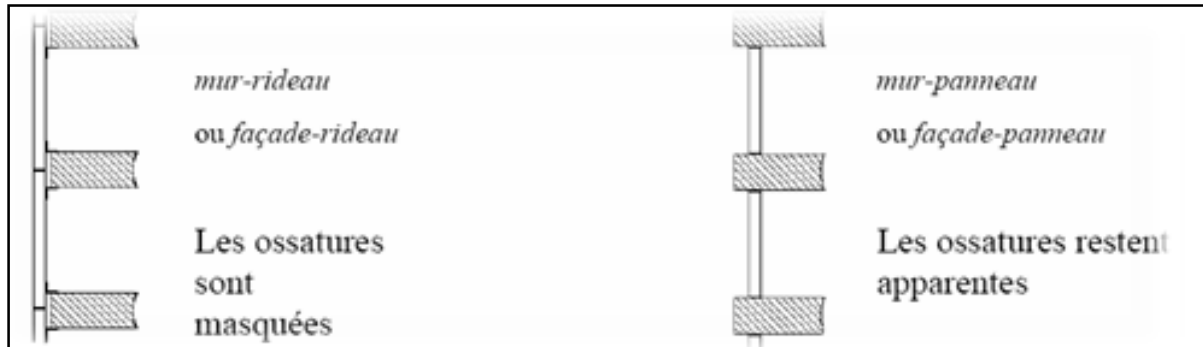
<sup>38</sup>Mémoire de master en architecture option architecture et technologie « L'enveloppe architecturale entre élément de conception et élément d'intégration environnementale » année : 2016 université de Jijel département d'architecture.

<sup>39</sup>Herzog. T, et all, « Construire des façades », 2007, éditeur PPUR : p10.



**a- Les façades légères :**

Une façade légère se dénomme mur-rideau ou façade-rideau si elle passe devant les abouts de planchers alors qu'un mur-panneau (ou une façade-panneau) Caractérise le fait que les ossatures horizontales et/ou verticales restent apparentes.<sup>40</sup>



**Figure 2.8** : Mur-rideau et mur-panneau : principe constructif.

**Source** : Ministère de l'équipement, des transports du logement, du tourisme et de la mer, « Les façades »

**b- Les façades en remplissage maçonné (< à 15 cm d'épaisseur) :**

Comme la façade légère, ce type de façade présente une trame délimitée par l'ossature du bâtiment. Toute maçonnerie de petits éléments de moins de 15 cm d'épaisseur est considérée comme non porteuse et ne participant pas aux descentes de charge. Elles sont agglomérés de béton ou briques creuses de terre cuite jusqu'à 15 cm d'épaisseur, enduits ou isolés par l'extérieur.

**4.1.2 Façades porteuses :**

Dans ce cas, les façades, en plus de leurs fonctions de base définies ci-dessus, assure la reprise et la descente des charges transmises par les planchers et charpentes. Les matériaux couramment rencontrés sont le béton armé, le béton penché (ou coulé sur place), les panneaux de béton préfabriqués, les blocs de béton les briques de terre cuite, de pierre taillé et plus rarement le béton architectonique.<sup>41</sup>

**4.2 L'enveloppe horizontale (toiture) :**

On peut classer les toitures selon :

**Classification selon la pente de toiture** : on distingue

- Les toitures plates : pour les pentes qui sont comprises entre 1 et 3%,
- Les toitures inclinées : quand les pentes sont incluses dans l'intervalle 3 à 7%.

<sup>40</sup> Ministère de l'équipement, des transports du logement, du tourisme et de la mer, « Les façades », Op. , cit. , p10.ze

<sup>41</sup> Ibid., p13.

### 4.2.1 Les toitures plates :

Le support de ses toitures peut consister en charpente traditionnelle en acier composée de poutres et de pannes, ou être créé par une dalle en béton qui remplace dans ce cas le porteur plan procuré par les tôles. Un acrotère d'une hauteur minimale de 120mm, percé de dégorgeoirs délimite le périmètre de telles toitures. Afin d'assurer l'écoulement des eaux, la pente du support, donnée de préférence par l'inclinaison des poutres ou de dalle plutôt que par des chapes de pente, doit être d'au moins 1.5% pour prévenir toute accumulation d'eau. Et on distingue 03 types de toiture plate.

#### a- Toitures plates isolées :

La présence d'une isolation dans ce type de toiture rend obligatoire la mise en œuvre d'un pare-vapeur. Sur une dalle de béton, ces pare-vapeur constitués de lés bitumes ou de feuilles synthétiques intègrent directement une couche de protection.<sup>42</sup>

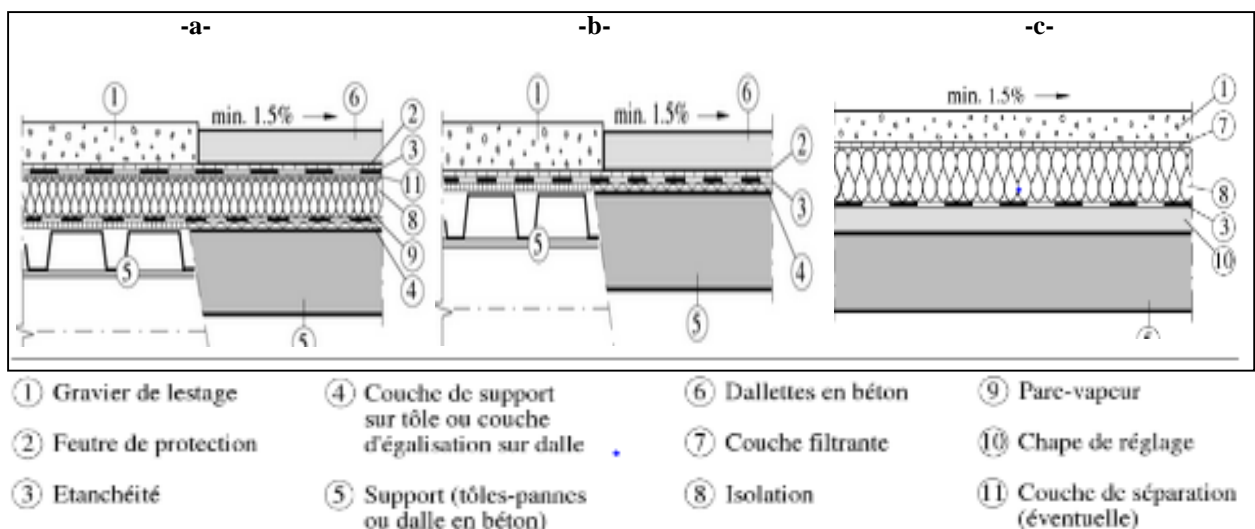
#### b- Toitures plates non isolées :

Dans ce type de toiture, l'étanchéité est réalisée soit par des lés bitumés collés en plein (c'est-à-dire sur toute la surface) directement sur la dalle, soit par des lés en matière synthétique posés librement sur une couche d'égalisation dont le rôle est l'empêcher que les aspérités de la dalle blessent l'étanchéité.

#### c- Toiture inversées :

Dans ce type de toiture, l'étanchéité est placée sous l'isolation.

L'avantage découlant de cette manière de faire est double. D'un autre part, l'étanchéité assure en raison de sa position par rapport à l'isolation le rôle de pare-vapeur.



**Figure 2.9** : de gauche à droite : -a-Détail toiture isolée, -b-Détail toiture non isolée, -c-Détail toiture inversée.  
**Source** : Hirt.M, et, Crisinel.M, (2005), *Conception des charpentes métalliques*

<sup>42</sup> Hirt.M, et, Crisinel.M, (2005), « *Conception des charpentes métalliques* », PPUR, Italie p160-161, 232P.

### 4.2.2 Toitures inclinées :

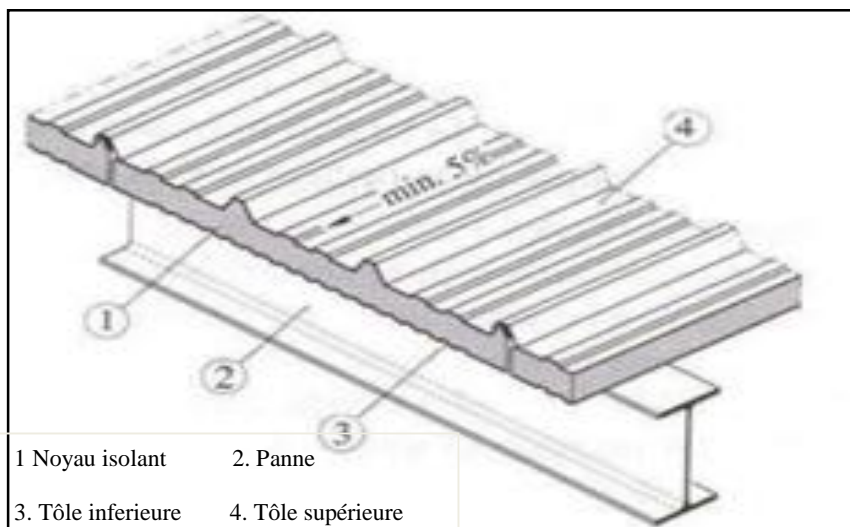
Ces toitures ont généralement un support constitué d'une charpente métallique ou d'une charpente en bois, plus rarement d'une dalle en béton. La pente de la toiture doit être d'au moins 5 %. Au pied de chaque pan, suivant les matériaux mis en œuvre, on distingue les toitures inclinées non isolées et toitures inclinées isolées.

#### Toitures inclinée avec isolation autoportante :

Si les pannes ne sont pas trop écartées, ce qui le cas lors de l'utilisation d'un revêtement en plaque ondulées en fibrociment, ou si une sous- structure est mise en œuvre, il est possible d'insérer entre les pannes des panneaux d'isolation. Ces panneaux peuvent être de faible densité ais doivent toujours être livrés avec un pare- vapeur collé sur une des façades. <sup>43</sup>

#### Toiture inclinée en panneaux sandwichs :

Les panneaux sandwichs offrent de multiples avantages ils combinent les fonctions de couverture, de structure portante, d'isolation et de décoration intérieure des bâtiments. Ils possèdent une bonne capacité portante. La portée utile des panneaux permet ainsi l'espacement des supports et une grande économie des structures portantes. <sup>44</sup>



**Figure 2.10 :** Toiture en panneaux sandwich

Source : Hirt.M, et, Crisinel.M, (2005), *Conception des charpentes métalliques*

#### Classification selon l'usage de la toiture :

En fonction de l'accessibilité, les toitures sont classées en :

Toitures inaccessibles : ce sont des toitures recevant uniquement une circulation réduite à entretien normal de l'étanchéité et de ses accessoires.

<sup>43</sup> Hirt.M, et, Crisinel.M, (2005), « *Conception des charpentes métalliques* », PPUR, Italie p160-161, p162.

<sup>44</sup> Ibid. p163

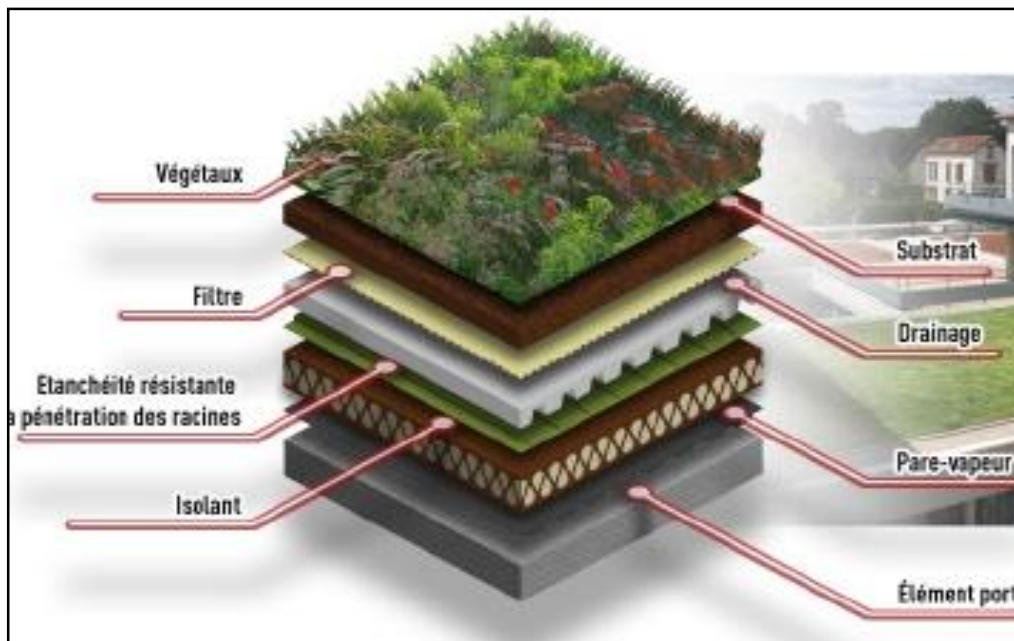
**Technique ou à zones techniques :**

L'accessibilité est seulement liée à l'entretien des installations placées en terrasse (chaufferie, dispositifs de ventilation ou de traitement d'air, machineries d'ascenseurs, etc.

Accessibles aux piétons : elles permettent la circulation et le séjour des personnes qu'elle qu'en soit la raison (entretien, loisir, circulation...)

Toitures terrasses jardins : elles sont recouvertes de terres végétales et de plantations.<sup>45</sup>

Et se compose d'un élément porteur, un pare-vapeur, un isolant thermique, un revêtement d'étanchéité, une couche drainante, couche filtrante, et un Substrat.<sup>46</sup>



**Figure 2.11 :** Toiture Végétalisée

Source : [www.decroissons.wordpress.com/habitat/toiture-vegetale](http://www.decroissons.wordpress.com/habitat/toiture-vegetale), consulté le 30 septembre 2017

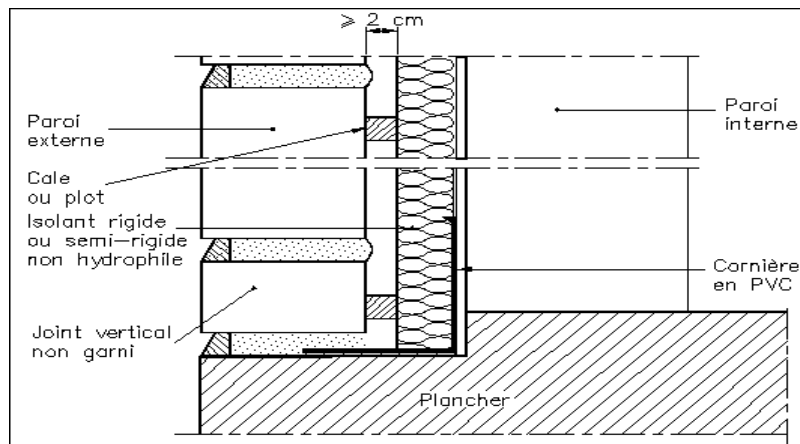
## 5. Les éléments rattachés

### 5.1 Les revêtements des murs extérieurs :

Les revêtements de façades ont une double fonction de décoration et d'imperméabilisation, ils n'ont pas de fonction porteuse.

<sup>45</sup> Bondil. A, et, Hrbvsky, J. (1978) « Isolation thermique le règlement de construction et l'aération des bâtiments d'habitation », tome 1, Eyrolles , parie P.16,178P.

<sup>46</sup> Ibid.



**Figure 2.12** : Principe d'un doublage extérieur en briques  
 Source : [www.cnrs.fr/aquitaine/IMG/pdf/Facades.pdf](http://www.cnrs.fr/aquitaine/IMG/pdf/Facades.pdf), consulter le 30 septembre 2017

### 5.1.1 Les briquettes de parement :

Également appelées plaquettes de parement, elles ont une épaisseur faible, d'environ 1 cm, et sont collées au mortier sur le mur porteur. Elles sont similaires à ceux des briques apparentes et donnent ainsi l'aspect d'un mur doublé en briques.<sup>47</sup>

### 5.1.2 Le bardage :

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

### 5.1.3 Les enduits de façade :

Ouvrage exécuté sur une paroi extérieure de maçonnerie brute par application sous forme pâteuse ou semi-fluide, en une ou plusieurs couches, d'un produit ou d'un ensemble de produits. On rencontre principalement les enduits traditionnels aux liants hydrauliques, les enduits monocouches livrés prêts à l'emploi et les revêtements plastiques épais (R.P.E.).

<sup>47</sup> Ministère de l'équipement, des transports du logement, du tourisme et de la mer, « *les façades* », Op.cit., p.16.

### 5.1.4 Les peintures, lasures et lasures béton :

Alors que la peinture sert seulement à recouvrir un matériau pour le protéger, la lasure est un produit de revêtement et d'imprégnation qui confère aux ouvrages en bois exposés aux intempéries à la fois la protection (hydrofuge, insecticide et fongicide) et la décoration (teinte naturelle ou coloration).

### 5.1.5 Les pierres agrafées :

Il s'agit de pierre pelliculaire ou marbre pelliculaire en parement de façades.<sup>48</sup>

### 5.1.6. Les fenêtres :

1. Le critère de résistance mécanique : une fenêtre ouvrante est composé de trois éléments qui se transmette diverses sollicitation mécanique, reprise finalement par la structures dans la laquelle la fenêtre est insérée .Il s'agit du vitrage, de l'ouvrant, tenant le vitrage et du dormant auquel l'ouvrant est accroché.
2. Le critère d'étanchéité à la pluie et à l'aire : l'étanchéité dépend principalement de la conception et du comportement de la jonction entre, d'une part l'ouvrant et le dormant et d'autre part entre le dormant et la paroi dans laquelle il est fixés.
3. Le critère hygrothermique : les fenêtres sont des éléments de façades légers, d'inertie thermique (de transmission et 'absorption) faible .Elle sont aussi le point le plus faible du point de vue de l'isolement thermique. Le double vitrage, les fermetures à perméabilité réduite à l'air et le verre à faible émissivité améliorent sensiblement les performances thermiques des fenêtres actuelles sans pour autant pouvoir les rapprocher des performances thermiques des parties opaques de la façade.
4. Le critère de résistance aux chocs : pour éviter le danger de chute des fenêtres des solutions il y deux solutions peuvent être adoptés :
  - Devant la partie ouvrante, on introduit des barres d'appui ou un garde-corps complet
  - S'il y a un châssis ou une allège menuisé vitrée, on adopte toujours les règles de hauteur d'allège et en renforce la menuiserie et le vitrage jusqu'à l'obtention d'une résistance suffisante aux chocs.
5. Le critère de sécurité contre l'incendie : la fenêtre constitue le point faible de la façade. A moins que l'on utilise des verres spéciaux, il faut respecter les diverses règle d'écartement qui concerne deux fenêtres superposées.
6. Le critère acoustique : on améliore l'isolement acoustique d'une fenêtre en améliorant son étanchéité à l'aire, en assurant un contact entre ouvrant et dormant, et en

<sup>48</sup> Ministère de l'équipement, des transports du logement, du tourisme et de la mer, « *les façades* », Op.cit., p.17.

choisissant un double vitrage à l'âme d'aire large avec des vitres d'épaisseurs différentes. <sup>49</sup>

## 5.2 Les Revêtements d'étanchéité pour toiture :

### 5.2.1 Matériaux à base de bitume :

- **Enduit d'application à chaud (EAC)**

Les enduits d'application à chaud sont à base de bitume oxydé ou soufflé ; ils peuvent contenir une certaine proportion de fillers chimiquement inertes.

- **Enduits d'imprégnation à froid (EIF)**

Ce sont des produits à base de bitume en solution ou en émulsion. La teneur en bitume doit être égale ou supérieure à 50 %.

- **Bitume armé (Chape souple)**

C'est un matériau préfabriqué en lés, composé d'une armature, en toile de verre ou de jute, imprégnée et enduite sur ses deux faces de bitume oxydé plus ou moins additionné de filler.

- **Feutre bitumé**

C'est un matériau préfabriqué en lés, analogue au bitume armé, mais dont l'armature est du carton feutre ou du voile de verre.

- **Bitume élastomère (SBS)**

C'est un mélange de bitume et d'élastomère type Styrène - Butadiène - Styrène, de fillers et d'ajouts éventuels. La composition du mélange varie selon les fabrications.

- **Bitume modifié au Polypropylène atactique (APP)**

C'est un mélange de bitume de distillation et de polypropylène atactique. Il présente une meilleure aptitude à la déformation que les bitumes oxydés ; il est moins susceptible à la chaleur mais reste fragile aux basses températures.

### 5.2.2 Matériaux à base de hauts polymères :

Il s'agit de matériaux de synthèse obtenus par mélange de plusieurs composants, Le matériau le plus employé est la feuille en PVC.

### 5.2.3 Matériaux pour écran par vapeur :

- Frein - vapeur : feutre bitumé surfacé 36S

<sup>49</sup> Anatomie de l'enveloppe des bâtiments Imprimerie Hérissey à Evereux N° d'impression : 78367, dépôt légal : octobre1997 page280

- Ecran vapeur total : feuille d'aluminium de 8/100 mm enrobée de bitume.<sup>50</sup>

## 6. La résistance mécanique de l'enveloppe et sécurité contre la chute

### 6.1. La résistance mécanique au vent, à la neige et au poids d'eau :

Il s'agit d'une protection des personnes et des locaux contre les effets mécaniques de ces météores, qui peuvent provoquer une rupture locale ou générale des ouvrages d'enveloppe.

- L'eau : l'examen de la résistance mécanique de l'enveloppe aux effets de l'eau relève généralement, d'une part des diverses méthodes et règles de calculs des matériaux mis en œuvre, d'autre part des sollicitations affectent surtout les toitures légères à faible pente on peut donc assurer la résistance contre le poids de l'eau cumulée en suivant les règles de pente, de dimensionnement et de distribution des descentes.
- Le vent : les forces dues au vent agissant toujours perpendiculairement à la surface des enveloppes. Ce sont soit des pressions, orientés vers l'intérieur du bâtiment des succions, orientés vers l'extérieur du bâtiment. Les sollicitations du vent affectent toutes les surfaces de l'enveloppe exposées à l'air, façades et toits de toute en pente. Sur les toitures à forte pente et les façades heurtées directement par le vent, on a généralement des pressions. Elles dépendent de la forme et des dimensions du bâtiment. Sur les façades situées du côté opposé au précédent, ce sont généralement des succions. Elles dépendent également de la forme et des dimensions du bâtiment.
- La neige : la quantité de neige déposée sur une toiture dépend de la pente, de l'encaissement du toit, de la position géographique et de l'altitude du site. Elle augmente avec la diminution de la pente. Le vent peut modifier sensiblement le cumul et la distribution de la neige.

La neige glisse vers le bas de la pente. Le cumul de la neige ou de la glace aux rives et égouts d'un toit risque de causer des dégâts aux toitures avoisinantes et leur chute de provoquer les accidents corporels. Il faut donc prévoir des moyens pour freiner et fractionner la neige en bas de pente : c'est le rôle des garde-neige.<sup>51</sup>

### 6.2. Les risques de chute et de chocs :

Plusieurs normes françaises abordent la sécurité des ouvrages de la façade de point de vue danger de chocs et de chutes. Plusieurs types de risques y sont répertoriés :

- Risques graves : -la chute d'élément de la façade risquant de blesser les personnes. Ce risque existe en principe à tous les niveaux (bris de glace par exemple).

<sup>50</sup>Ministère de l'habitat, « travaux d'étanchéité des toitures terrasses et toitures inclinées support *maçonnerie* », Directeur Général Bourouba.M, document réglementaire technique.

<sup>51</sup> Anatomie de l'enveloppe des bâtiments Imprimerie Hérissey à Evreux N° d'impression : 78367, dépôt légal : octobre 1997 page 280



- Le risque de dégât à la structure porteuse dans le cas où la façade a un rôle dans la structure ou si, du fait de ses liaisons à la structure, la façade peut entraîner cette dernière dans la chute.
- Risques mineurs : le risque qu'un choc extérieur altère l'aspect ou la planéité, ou bien endommage l'isolation ou l'étanchéité à l'eau ou à l'air. Ce risque existe aux premiers niveaux proche au sol ou au niveau jouxtant des aires accessibles au public en hauteur.<sup>52</sup>

## Conclusion

A partir des données et des généralités qu'on a élaborées dans ce chapitre, on conclut que l'enveloppe architecturale a un reflet direct sur le confort intérieur et c'est pour cela, une conception soignée de l'enveloppe d'un bâtiment a une importance primordiale car elle fait sentir ses effets sur les performances énergétiques du bâtiment pendant toute sa durée de vie. Afin de créer le climat adapté à l'utilisation d'un bâtiment, on doit prendre en considération tous les paramètres en ce qui concerne la situation, l'orientation, la compacité du bâtiment, la position et la performance des matériaux doivent donc être optimisés, l'enveloppe doit être fortement isolée. Cette isolation utilise des techniques et matériaux de plus en plus efficaces et performants.

Enfin, il est essentiel que l'enveloppe ainsi conçue bénéficie des bonnes caractéristiques thermiques, qui permettent à l'enveloppe de récupérer au mieux les apports solaires.

---

<sup>52</sup>Anatomie de l'enveloppe des bâtiments Imprimerie Hérissey à Evreux N° d'impression : 78367, dépôt légal : octobre 1997 page 280

**Introduction :**

Ce chapitre nous présente quelques solutions techniques permettent à atteindre un enveloppe extérieure performant qu'il limite les déperditions thermiques et les points de faiblesses thermiques à fin d'éliminer le souci sur la consommation énergétique et pour assurer le confort thermique agréable aux occupants.

Dans ce chapitre on s'est fixé pour objectifs la définition de ces techniques et l'explication de leurs détails et leurs fonctionnement.

**1. Les déperditions thermiques d'un bâtiment**

Les déperditions thermiques d'un bâtiment seront rencontrées dès lors qu'on a une température différente entre le local chauffé à une température donnée et son environnement immédiat.

On classe ces déperditions en plusieurs groupes :

Déperditions par transmission par les parois HT :

Directement vers l'extérieur HD : composées de déperditions surfaciques  $H_{DS}$ , linéiques  $H_{DI}$ , et ponctuelles  $H_{DP}$  (déperditions dues aux ponts thermiques).

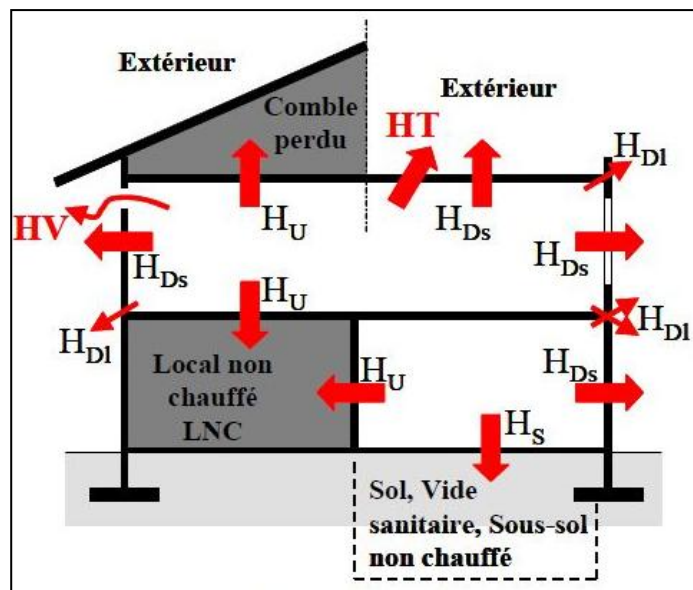
Vers les locaux non chauffés (LNC)  $H_U$  et  $H_S$  Vers le sol

Déperditions par renouvellement d'air HV :

Proportionnelles au débit d'air introduit dans le bâtiment.

Remarque : Les déperditions dépendent :

- De la température intérieure,
- De la température extérieure,
- De la qualité d'isolation du bâtiment,
- De l'apport d'air neuf hygiénique.<sup>53</sup>

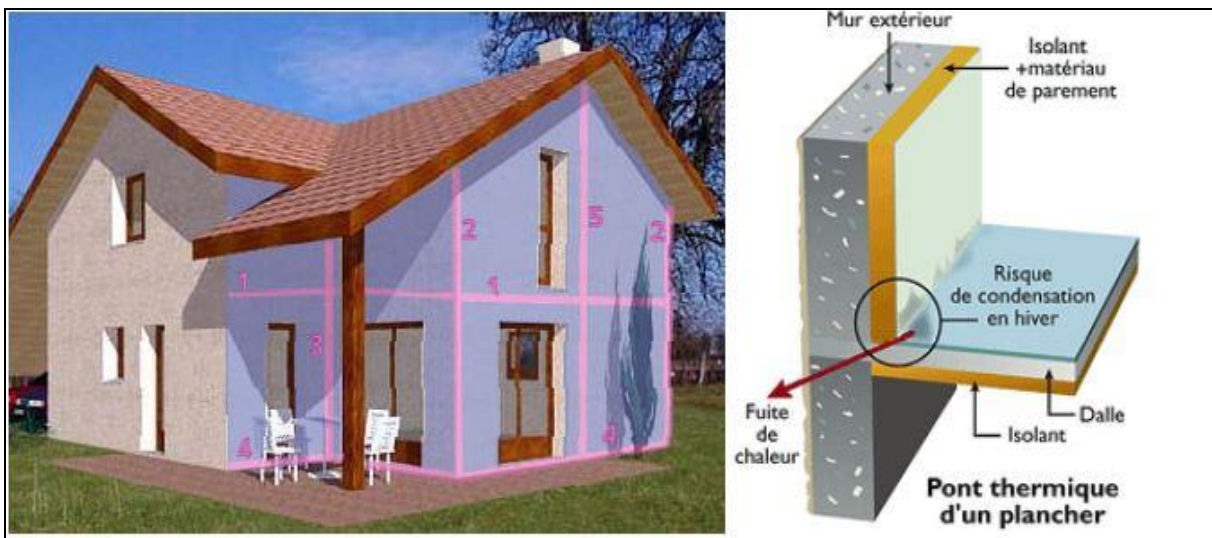


**Figure 3.13 :** Postes de déperditions d'un bâtiment.  
Source : FOUARA SMIR 2008.

<sup>53</sup>FOUARA SMIR, thèse doctorat en science, option : architecture bioclimatique « simulation des paramètres du confort thermique d'hiver en Algérie » 2008, université Menourie - Constantine, p88.

## 2. Les problèmes de l'isolation thermique

Le problème de l'isolation thermique et notamment des ponts thermiques, semble avoir trouvé la réponse d'après la littérature : l'isolation extérieure, tout est possible si l'isolation et les parements sont efficaces. Pour l'isolation extérieure, les matériaux écologiques feront l'affaire, si la pose est bien faite. Il est nécessaire donc de calculer des pertes par ponts thermiques de liaison et donc de connaître les longueurs de ces liaisons. Elle fonctionne donc à partir des dimensions d'un mur type qui est illustré ci-dessous :



**Figure 3.14 :** illustration des ponts thermiques de liaison  
Source : MOHAMMED GACEM 2011-2012

Les liaisons considérées sont marquées en mauve sur l'illustration (liaison du plancher bas, du plancher intermédiaire, 2 angles de murs sortants, un entrant, un mur de refend) et également les liaisons avec les menuiseries. Toute singularité dans une paroi constitue un pont thermique et plus particulièrement :

- Entre deux parois verticales (angle formé par deux murs ou entre un mur extérieur et un mur intérieur)
- Entre une paroi horizontale et une paroi verticale (à la jonction d'un mur et d'un plancher)
- Au droit des joints lors de la pose des fenêtres.<sup>54</sup>

<sup>54</sup> MOHAMMED GACEM, mémoire magister option : physique électronique et modélisation « comparaison entre l'isolation thermique extérieur et intérieur d'une pièce d'un habitat situé dans le site de Ghardaïa », année : 2010-2011, université ABOU-BEKR Belkaid-telemcen, p58.

### 3. Stratégies des enveloppes

#### 3.1. Stratégie du chaud :

Le captage consiste à recueillir l'énergie solaire et à la transformer en chaleur. Il se fait essentiellement à travers les surfaces vitrées, et dans une moindre mesure à travers les parois opaques.

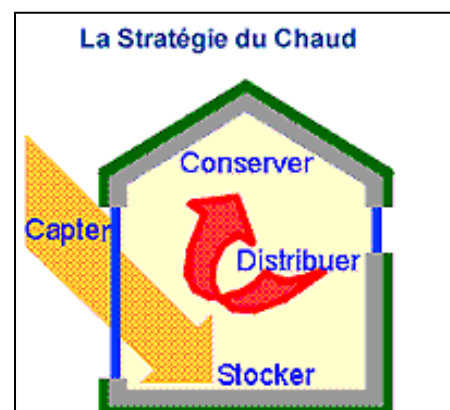
L'énergie solaire étant souvent plus importante au moment où elle est moins nécessaire et les apports internes parfois élevés, il est intéressant de stocker toute cette énergie jusqu'au moment où le besoin s'en fait sentir. L'inertie de chaque matériau (plancher, paroi,...) permet d'absorber les fluctuations suivant sa capacité d'accumulation.

La distribution peut se réaliser

- naturellement lorsque la chaleur accumulée dans un matériau durant la période d'ensoleillement est restituée à l'air ambiant par convection et rayonnement ;
- par thermo circulation de l'air ;
- mécaniquement.

En climat froid ou frais, on s'efforcera de conserver toute la chaleur, qu'elle provienne de l'ensoleillement, d'apports internes ou d'un système de chauffage, aussi longtemps que possible à l'intérieur du bâtiment. C'est essentiellement la forme et l'étanchéité de l'enveloppe, ainsi que les vertus isolantes de ses parois qui limiteront les déperditions thermiques.

A cet égard, une ossature en bois présente des avantages indéniables : elle permet de limiter les ponts thermiques et favorise une isolation renforcée des murs et de la toiture sans augmenter l'épaisseur des parois. Ce qui a accessoirement pour effet de gagner de la surface habitable par rapport à une construction maçonnée pour une même surface hors œuvre.



**Figure 3.15 : la stratégie du chaud**  
Source : <http://thesis.univ-biskra.dz/2367/3/Chapitre%201.pdf>

<b>Stratégie d'hiver</b>	
	<p><b>1. Stratégie du chaud : Application en hiver</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Capter l'énergie solaire</b> Créer des ouvertures côté soleil pour largement en recevoir l'énergie.</li> <li>• <b>Stocker dans la masse</b> Les matériaux lourds placés à l'intérieur du bâtiment apportent une inertie thermique qui permet à celui-ci de stocker l'énergie.</li> <li>• <b>Conserver par l'isolation</b> Isoler thermiquement l'ensemble des parois entourant le volume chauffé afin de conserver la chaleur emmagasinée dans l'air et dans les parois.</li> <li>• <b>Distribuer</b> Répartir la chaleur accumulée dans l'air et dans les parois lourdes, la nuit.</li> </ul>

Figure 3.16 : la stratégie d'hiver

### 3.2. La stratégie du froid.

La façon la plus efficace de se protéger de l'ensoleillement direct trop important à certains moments est d'ériger un écran extérieur procurant de l'ombre. Ces structures d'ombrage peuvent être permanentes, amovibles ou saisonnières.

Malgré toutes les précautions prises, il se peut qu'à certains moments l'air intérieur du bâtiment soit surchauffé : il s'agit alors de dissiper la chaleur excessive. Cela peut être obtenu en exploitant les gradients de température par le biais d'ouvertures produisant un " effet de cheminée ".

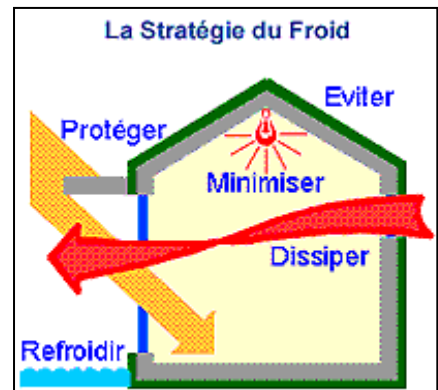


Figure 3.17 : la stratégie du froid  
Source : <http://thesis.univ-biskra.dz/2367/3/Chapitre%201.pdf>

La pression du vent et la canalisation des flux d'air peuvent également être mises à profit pour évacuer l'air surchauffé du bâtiment.

Il est en outre essentiel de minimiser les apports internes de chaleur et d'éviter les apports externes (en accroissant l'isolation ou l'inertie des parois,...). On peut également augmenter la vitesse de circulation de l'air et le refroidir naturellement par des dispositifs extérieurs (plans d'eau, fontaines, végétation,...) ou encore tirer avantage des radiations nocturnes vers la voûte céleste<sup>55</sup>.

Stratégie d'été	
<p>En été, le jour, se protéger.</p>	<p>En été, la nuit, rafraîchir les parois.</p>
<p><b>2. Stratégie du froid : Application en Été</b></p> <p><b>Protéger du rayonnement solaire</b> Protection des baies par des volets et des stores. Végétation à feuilles caduques au sud.</p> <p><b>Dissiper les surchauffes</b> par ventilation diurne</p> <p><b>Refroidir par ventilation nocturne</b></p>	

Figure 3.18 : la stratégie d'été

<sup>55</sup> <http://thesis.univ-biskra.dz/2367/3/Chapitre%201.pdf>, consulté le : 17-09-2017 à 14h36.

#### 4. Stratégie de production d'énergies solaire.

L'énergie solaire est souvent considérée comme l'énergie de l'avenir, Le soleil représente la source d'une énergie infinie, qui permet la conversion du rayonnement solaire en énergie électriques et thermique, appelé énergie photovoltaïque et énergie thermique, son installation se résume à des panneaux solaire installer sur l'enveloppe du bâtiment pour capter le rayonnement solaire et le transformer en énergie. En utilisant l'énergie solaire, cela opte à un retour rapide sur l'investissement de la facture, à la participation de la protection de l'environnement, et d'économiser les ressources non renouvelables.

#### 5. Application et Solution technique

##### 5.1. La protection solaire.

Sa mauvaise prise en compte peut conduire à la fois à des situations très inconfortables pour les occupants en plein été, ou même en mi- saison et à des recours ; dès la conception ou après réalisation. La protection solaire des parois vitrées peut se faire à la fois par le vitrage lui-même (caractérisé notamment par son facteur solaire, FS) et par les différentes protections, extérieures ou intérieures, fixes ou mobiles, que l'on peut leur associer. En été, le rayonnement solaire traverse les surfaces vitrées de l'enveloppe (portes et fenêtres), augmentant ainsi la charge thermique du bâtiment. Les différents dispositifs de protection solaire permettent de réduire cet impact :

- Protections solaires verticales pour les orientations ;
- Protections solaires externes fixes ou mobiles ;
- Stores extérieurs (volets roulants ou stores vénitiens) ;
- Auvents et différentes casquettes ;
- Rideaux intérieurs (stores vénitiens ou tissus) ;
- vitrages spéciaux.

La nature des baies vitrées, leur protection solaire et leur gestion conditionnent de manière importante le confort au sein d'un bâtiment, que ce soit en hiver ou en été. Les protections solaires contribuent à améliorer le confort thermique et visuel des occupants. Les deux fonctions principales d'une baie vitrée et de la protection solaire, qui lui est généralement associée, sont les suivantes :

**Confort visuel** : nécessité d'apporter un accès à la lumière naturelle et limiter les consommations d'éclairage artificiel...

**Confort thermique :** en été, limiter la pénétration du flux solaire énergétique et ainsi éviter autant que possible les surchauffes et/ou limiter les consommations de climatisation. En hiver, favoriser les apports d'énergie solaire pour diminuer les consommations de chauffage

Une bonne protection solaire doit intercepter le rayonnement incident et ne pas trop l'absorber afin d'éviter tout échauffement de la protection elle-même. Le rayonnement absorbé doit donc être majoritairement réfléchi.<sup>56</sup>

## 5.2. L'orientation optimale.

L'orientation d'un bâtiment est la direction vers laquelle sont tournées ses façades. C'est-à-dire la direction perpendiculaire à l'axe des blocs. Elle est désignée par celle de sa face principale, c'est-à-dire en générale celle qui comporte la plus grande surface de vitrage.

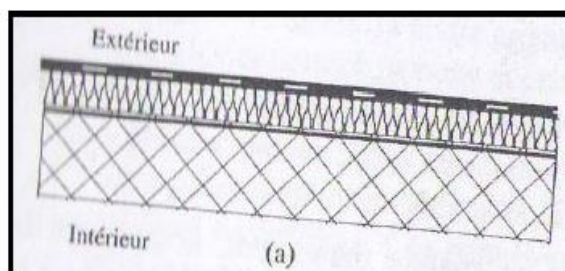
L'orientation est la disposition d'un bâtiment ou d'un aménagement urbain par rapport aux éléments d'un site ou au point cardinal (BRUNET et AL, 1992 p.163).

Le choix de l'orientation d'après GIVONI. B (1980) est soumis à de nombreuses considérations, telles que :

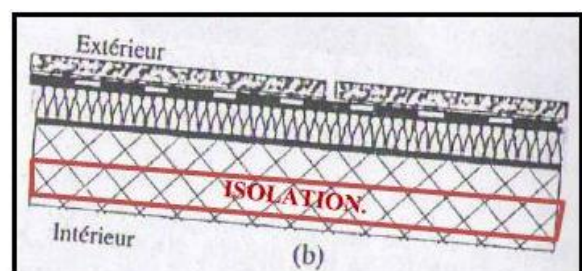
- La vue ; le bâtiment doit offrir des ouvertures sur les paysages existants.
- La position par rapport aux voies.
- La topographie du site.
- La position des sources des nuisances et la nature du climat (facteurs climatiques ; Les radiations solaires et le vent).

## 5.3. L'isolation thermique du bâtiment.

### A. Isolation des dalles toitures



**Figure 3.19 :** dalles toiture classiques sans protection (a)  
**Source :** Claude-Alain roulet, 2004



**Figure 3.20 :** dalles toiture classiques avec protection de l'étanchéité (b)  
**Source :** Claude-Alain roulet, 2004

L'isolation dans les dalles toitures plates classiques est placée entre une barrière à la diffusion de vapeur, elle-même posée sur la dalle, et la couche d'étanchéité venir ; Soit à cause du soleil, soit lors de la pose de l'étanchéité bitumineuse. On a beaucoup utilisé le liège pour

<sup>56</sup> FOUARA SMIR, mémoire doctorat en science, option : architecture bioclimatique « simulation des paramètres du confort thermique d'hiver en Algérie »2008, université Mentouri - Constantine, p109.



cette application. Maintenant, on utilise le polyuréthane, la mousse de verre, les fibres minérales et le polystyrène, ces derniers à hautes densité.

### A.1. Isolation des toitures inversées

Dans la toiture plate inversée, l'isolant est placé au-dessus de l'étanchéité, elle-même directement posée sur la dalle. Cette dalle est souvent recouverte d'une chape de pente, des dalles de béton ou du gravier chargent les plaques d'isolant, les protégeant du soleil et les empêchent de s'envoler.

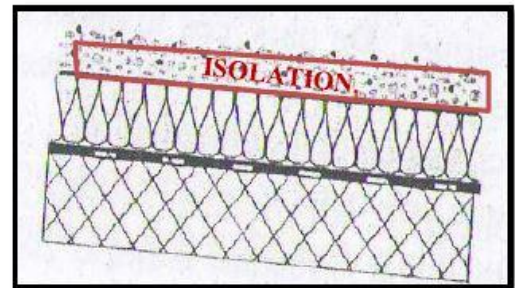


Figure 3.21 : Toiture inversée  
Source : Claude-Alain roulet, 2004

Seul le polystyrène extrudé, ayant une pellicule étanche à l'eau sur ces deux faces, convient à cette application. Un feutre drainant est posé sous l'isolant, l'empêchant de se coller à l'étanchéité, un autre feutre doit être placé sous le gravier pour éviter que celui-ci ne se glisse pas entre les plaques

### A.2. Isolation des toitures vertes

L'ensemencement des toitures plates, soit sur une certaine épaisseur de terre (toiture jardin), soit sur de gravier à faible teneur en terreau (toiture verte maigre) permet d'une part de stabiliser la température de la toiture, et d'autre part d'amortir les crues suite aux averses en gardant l'eau plus longtemps sur les toits. Ce genre de toiture est donc recommandable, mais nécessite des précautions particulières quant à son isolation thermique et son étanchéité ; il faut en premier lieu éviter que des racines puissent percer l'étanchéité en évitant de planter des espèces perforantes et en posant une priée dans ce cas, car l'isolation ne peut pas s'assécher entre les pluies, puisque l'eau est retenue par le terraina ou le gravier avec humus.

### A.3 Isolation des éléments d'enveloppe légers

Des éléments de façade légers sont préfabriqués en collant des feuilles ou des plaques de revêtement sur les faces intérieurs et extérieurs d'un matériau isolant. Pour cette application, le matériau isolant doit être rigide, donc présenter une résistance mécanique suffisante à la traction et à la compression. On utilise essentiellement les mousses organiques telles que le polyuréthane et le polystyrène expansés.

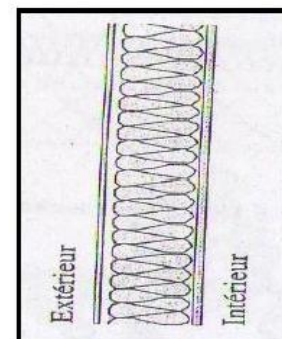


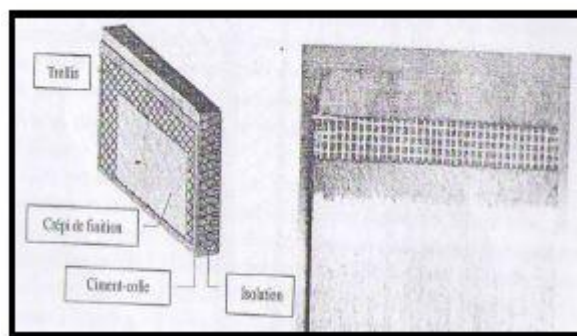
Figure 3.22 : Panneau léger  
Source : Claude-Alain roulet, 2004

#### A.4 Isolation extérieure compacte

L'isolation extérieure compacte ou crépie est constituée de plusieurs couches : le matériau isolant est collé sur la face extérieure de la façade, à l'aide d'un ciment-colle.

Des clous de matière plastique sont parfois utilisés pour fixer l'isolant. L'isolant est ensuite enduit d'un crépi synthétique armé d'un treillis de fibre de verre pour le protéger des intempéries et lui donner son aspect final.

Des systèmes d'isolation extérieure compacte existent pour tous les isolants principaux (fibres minérales, mousses organiques et inorganiques), mais les systèmes utilisant le polystyrène expansé dominant actuellement.



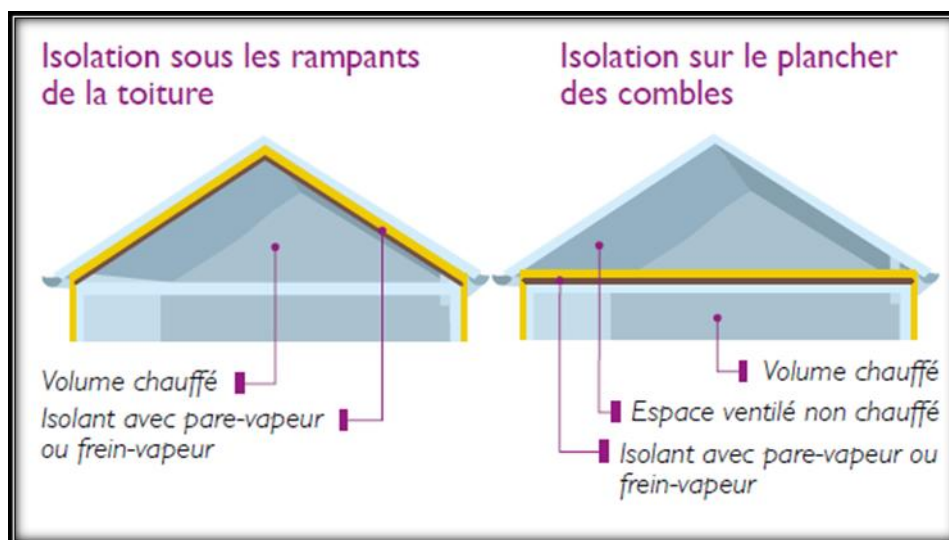
**Figure 3.23** : isolation extérieure compacte  
**Source** : Claude-Alain roulet, 2004

#### B. 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 3.24** : l'isolation des combles selon le type d'emplacement de l'isolant  
**Source** : [www.entrepreneurvert.fr](http://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.

### B.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.<sup>57</sup>

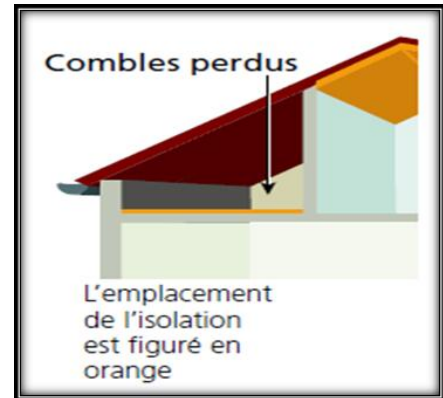


Figure 3.25 : Comble perdu

Source : [www.toutplaco.com](http://www.toutplaco.com)

### B.2. Les combles avec plancher

Techniquement, l'isolant doit être disposé sur le plancher, en une ou deux couches, selon les cas. Quatre types d'isolant peuvent être utilisés :

- les fibres minérales en rouleaux, équipés d'un pare-vapeur.
- les isolants en vrac (vermiculite,...). Ils sont simplement déversés sur le plancher du comble.
- la laine de verre en vrac qui est soufflée à l'aide d'un appareillage approprié.
- les isolants en panneaux (polystyrène, polyuréthane). Ils sont disposés jointifs sur le plancher.

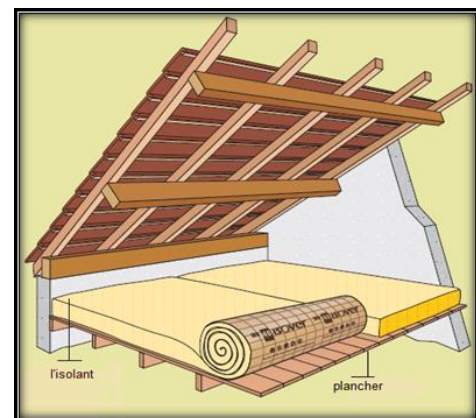


Figure 3.26 : L'isolation d'un comble Avec plancher

Source : [www.isover.fr](http://www.isover.fr)

### B.3. 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.

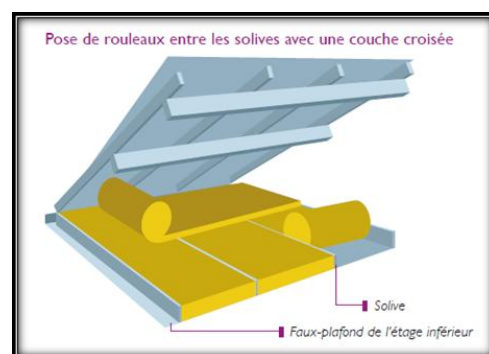


Figure 3.27 : L'isolation d'un comble Avec plancher

Source : [www.energissime.fr](http://www.energissime.fr)

<sup>57</sup> 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

#### B.4. 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.

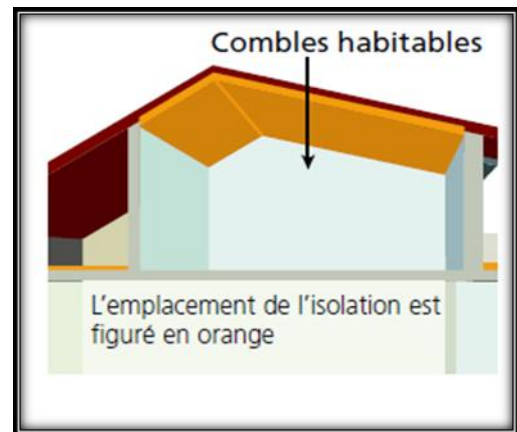


Figure 3.28 : comble habitable  
Source : www.energissime.fr

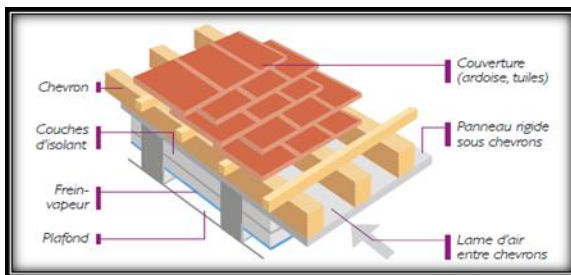


Figure 3.29 : l'isolation par panneaux  
Source : www.isover.fr

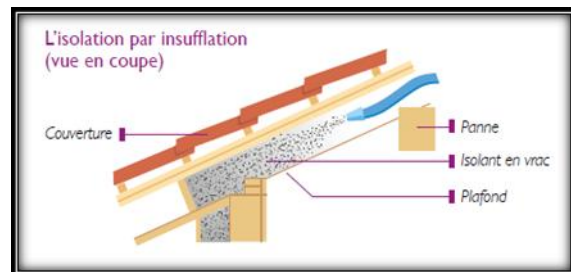


Figure 3.30 : l'isolation par insufflation  
Source : www.isover.fr

#### B.5. Les toiture-terrasse

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.<sup>58</sup>

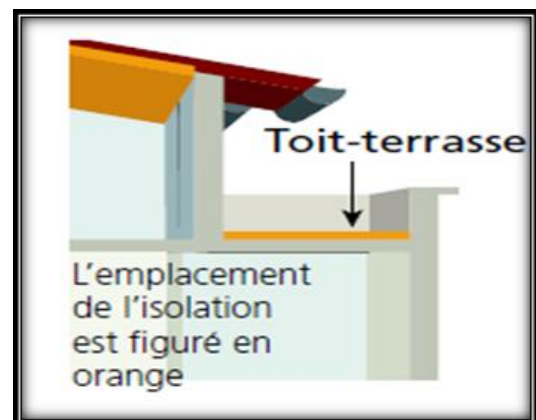


Figure 3.31 : Toit-terrasse  
Source : www.energissime.fr

<sup>58</sup> Ibid , p21.

## C. L'isolation des murs par l'intérieur

### C.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.



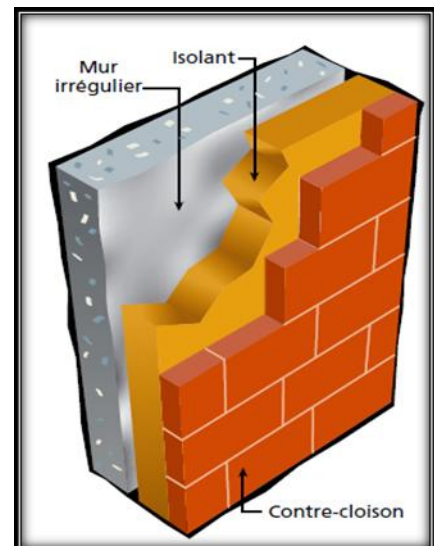
**Figure 3.32** : Mise en œuvre d'un isolant par l'intérieur  
**Source** : [www.isover.fr](http://www.isover.fr)

### C.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 :

### C.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.<sup>59</sup>



**Figure 3.33** : Fixation d'un isolant et une contre-cloison maçonnée  
**Source** : [www.iso-solar.com](http://www.iso-solar.com)

<sup>59</sup> 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, p13.

#### C.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.

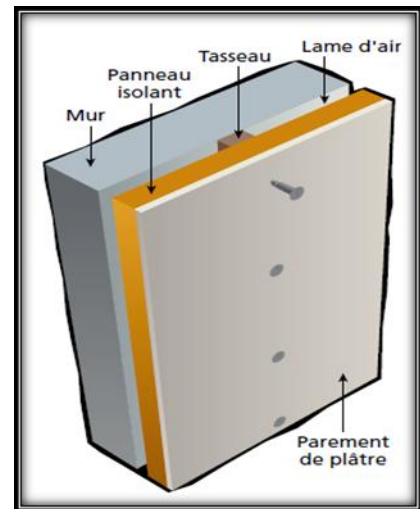


Figure 3.34 : Panneau composite  
Source : [www.art-dam-idf.fr](http://www.art-dam-idf.fr)

#### D. 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...).

##### D.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.
- 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

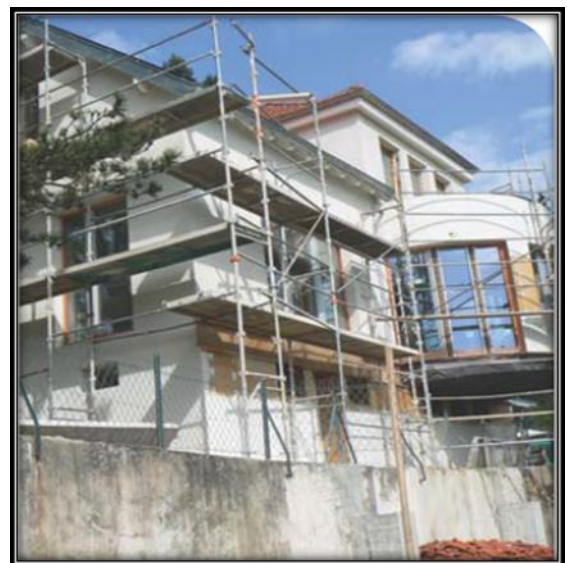


Figure 3.35 : isolation par l'extérieur d'une maison en région lyonnaise  
Source : [artibois.assor.fr](http://artibois.assor.fr)

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.<sup>60</sup>

## D.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.

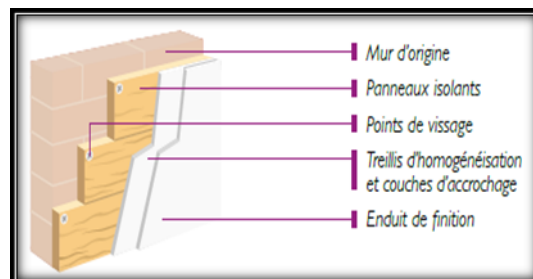


Figure 3.36 : isolation par panneaux enduits  
Source : www.isover.com

### 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.<sup>61</sup>

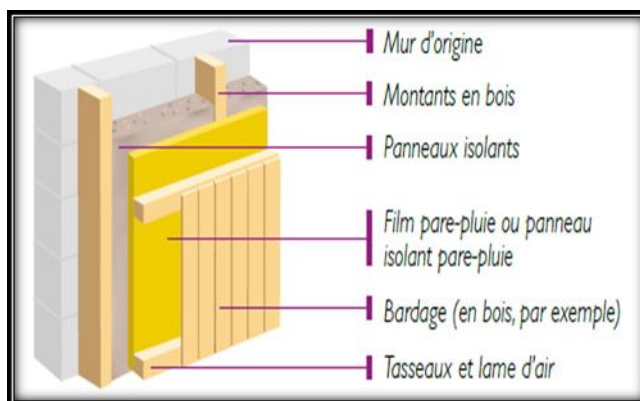


Figure 3.37 : isolation protégée par bardage  
Source : www.isover.com

### 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 Naturelle de l'hygrométrie, surtout dans le bâti ancien.<sup>62</sup>

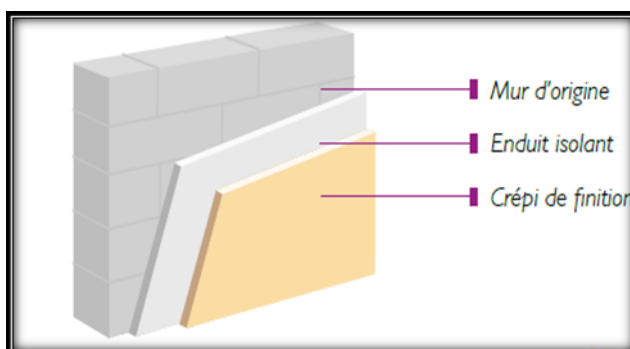


Figure 3.38 : isolation par enduit isolant  
Source : www.isover.com

<sup>60</sup> Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 2008, op cit p21.

<sup>61</sup> Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 2008, op cit p26.

<sup>62</sup> Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 2008, op cit p27.

### c. 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.<sup>63</sup>

### E. 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) intervient 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  $0,22 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .<sup>64</sup>

#### E.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 fenêtres<sup>19</sup>.

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

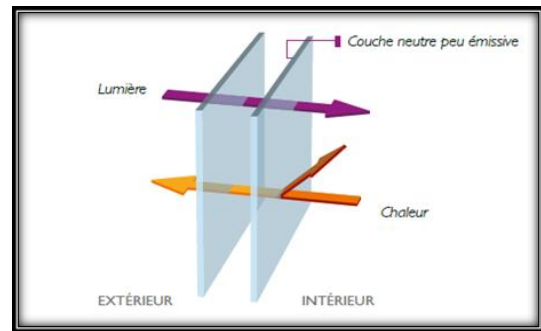
Il constitue la nouvelle génération de doubles vitrages. La lame entre les deux vitrages est remplie d'argon et une fine couche transparente peu émissive (généralement à base d'argent) est déposée sur une des faces du verre (côté lame d'air).

<sup>63</sup> Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 2008, op cit p28.

<sup>64</sup> Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 2008, 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.<sup>65</sup>



**Figure 3.39** : double vitrage à isolation renforcée  
Source : [www.isover.com](http://www.isover.com)

#### ❖ 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.

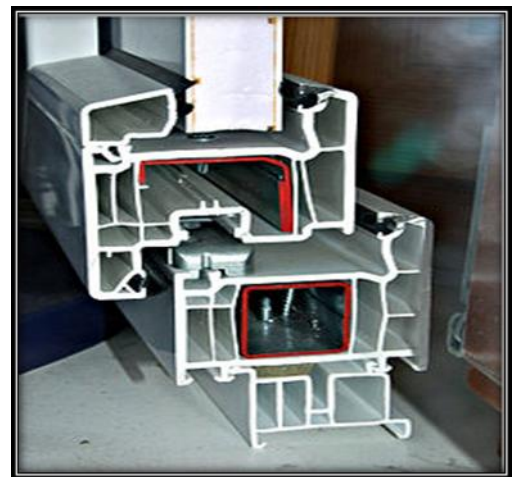
#### ❖ Le triple vitrage

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 / m<sup>2</sup>.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.<sup>66</sup>

### E.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.

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).



**Figure 3.40** : Coupe d'un cadre de Fenêtre en PVC  
Source : [www.isover.com](http://www.isover.com)

<sup>65</sup> Dossiers techniques de Agence locale de l'énergie de l'agglomération lyonnaise, « L'isolation Thermique Par L'extérieur », 2009.

<sup>66</sup> 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.

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.<sup>67</sup>

### E.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.<sup>68</sup>

#### ❖ 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.<sup>69</sup>

## 5.4. Les panneaux solaires. (Exploitation / La production solaire)

### 5.4.1. Définition

Un panneau solaire est un dispositif technologique écologique à base de capteur solaire thermique ou de capteur solaire photovoltaïque destiné à convertir le rayonnement solaire en énergie thermique ou en énergie électrique.



**Photo 3.8** : Capteur solaire thermique à gauche et capteur solaire photovoltaïque à droite.  
Source : Google image

<sup>67</sup> 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.

<sup>68</sup> Jean-Yves Charbonneau, Direction de la prévention-inspection, « Confort thermique à l'intérieur d'un établissement », Québec, mars 2004, p125.

<sup>69</sup> Mémoire master académique en architecture, option : architecture et technologie « confort thermique intérieur des constructions par les procédés passifs » année 2015, université de Jijel, p25.

#### 5.4.2. Les type de panneaux solaires :

##### ➤ Les panneaux solaires photovoltaïques

Appelés capteurs solaires photovoltaïques .Est basé sur la transformation de le rayonnement solaire en électricité. Le solaire photovoltaïque est communément appelé PV.

##### ➤ Les panneaux solaires thermiques

Appelés capteurs solaires thermiques, collecteurs solaires, qui consiste à chauffer de l'eau à partir de l'énergie solaire. Le solaire thermique vous permet de chauffer l'eau sanitaire de votre logement, et d'alimenter votre chauffage central en eau chaude.<sup>70</sup>



**Photo 3.9** : panneau solaire photovoltaïque  
Source : <http://www.norme-bbc.fr/panneau-photovoltaïque/>



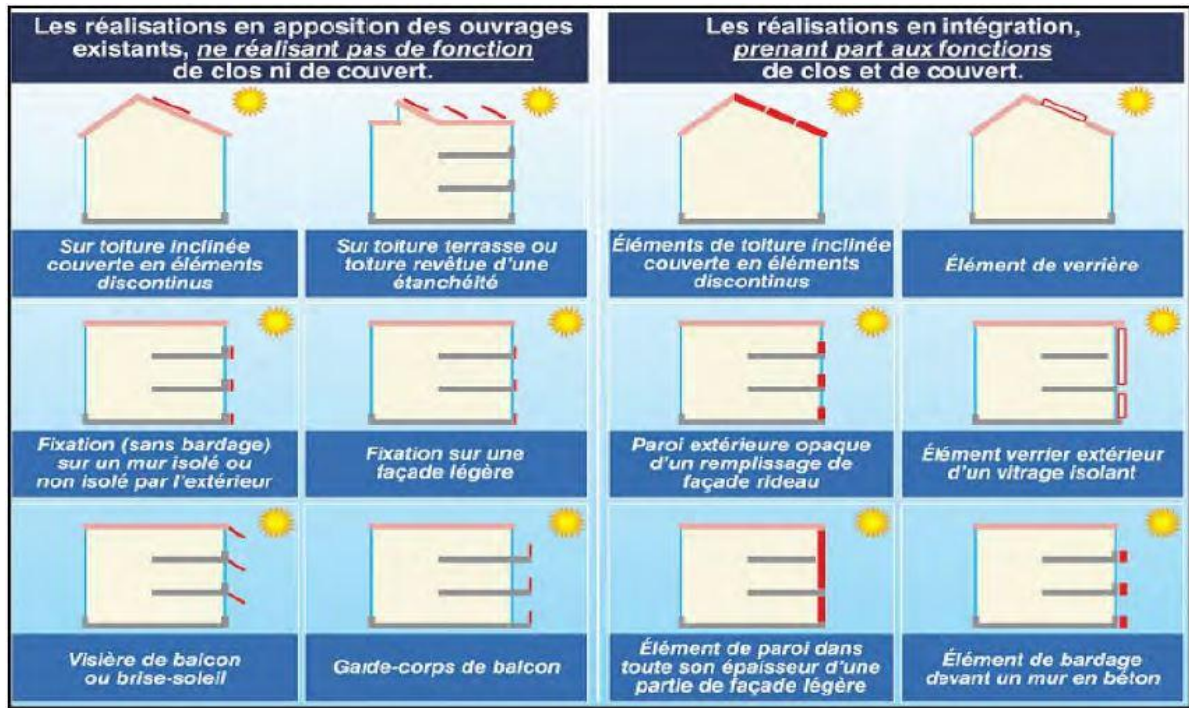
**Photo 3.10** : panneau solaire photovoltaïque  
Source : <http://www.ddmagazine.com/1702-Le-chauffe-eau-solaire-le-plus-ecologique.html>

#### 5.4.3. Intégration architecturale des panneaux solaire :

L'intégration du panneau solaire dans l'enveloppe du bâtiment s'est jusqu'ici largement limitée aux questions énergétiques. Les aspects esthétiques, structurels et fonctionnels du projet architectural occupaient alors une place de second rang. Pour l'architecte, l'offre de cellules solaires à l'esthétique variée ouvre aujourd'hui de multiples possibilités pour l'intégration créative de cette technologie.<sup>71</sup>

<sup>70</sup> Ecosource.info, site web, Panneau solaire hybride : le mixte photovoltaïque / thermique, [https://www.ecosources.info/dossiers/Panneau\\_solaire\\_hybride\\_mixte](https://www.ecosources.info/dossiers/Panneau_solaire_hybride_mixte), consulté le 12 septembre 2017

<sup>71</sup> L'intégration architecturale du solaire – une architecture exclusive qui produit de l'énergie, article N° : 805.526.F PDF consulter le 17-09-2017, [https://www.minergie.ch/media/integraisolar\\_architektur\\_fr.pdf](https://www.minergie.ch/media/integraisolar_architektur_fr.pdf)



**Figure 3.41 :** Les différentes formes d'intégration des panneaux solaires au cadre bâti  
**Source :** kabouche azouz mémoire magister « architecture et efficacité énergétique des panneaux solaires. ».2012

➤ **Sur les toits :**

Généralement les fonctions des toits sont ceux de la délimitation supérieure du bâtiment ; et de supporter les différents charges et isolations. À ce niveau, Le panneau solaire peut prendre toutes formes du toit. La fixation des panneaux se fait sur rails où attachée directement.

➤ **Sur les façades :**

A propos de ce type de conception, la façade c'est elle qui fournit notre impression initiale du bâtiment et qui procure à notre première impression de l'immeuble, c'est l'aspect externe représentatif qui donne le modèle et la philosophie des architectes et des constructeurs. Des goûts, des traditions, des concepts, mixés avec la technologie sont également reflétés dans cette conception des façades.

Dans ce contexte, les modules énergétiques peuvent enrichir le répertoire de la conception une fois traités comme éléments de façade, dans les bâtiments modernes, par exemple, les façades en verre transparentes fournissent un lien au monde extérieur, dont les piles solaires innovatrices peuvent être simultanément intégrées dans les feuilles en verre utilisées, ainsi, l'élément de façade peut également devenir un module solaire.<sup>72</sup>

<sup>72</sup> KABOUCHE AZOUZ mémoire magister « architecture et efficacité énergétique des panneaux solaires »2012 , université mentouri – constantine .p 110.

L'enveloppe du bâtiment est le système architectural secondaire le plus important pour le bilan énergétique. Elle est, en tant qu'interface entre l'architecture et la technique solaire<sup>73</sup>, le plan de référence essentiel pour l'intégration des installations solaires.

### 5.5. La façade double peau :

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.<sup>74</sup>

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.



**Photo 3.11** : Double façade ventilée de la médiathèque de Mont de Marsan  
Source [www .durable198.rssing.com](http://www.durable198.rssing.com)

#### 5.5.1. 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.

##### a. La peau extérieure

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

<sup>73</sup> T.Herzog et R.Krippner, « Construire des façades », 2007.

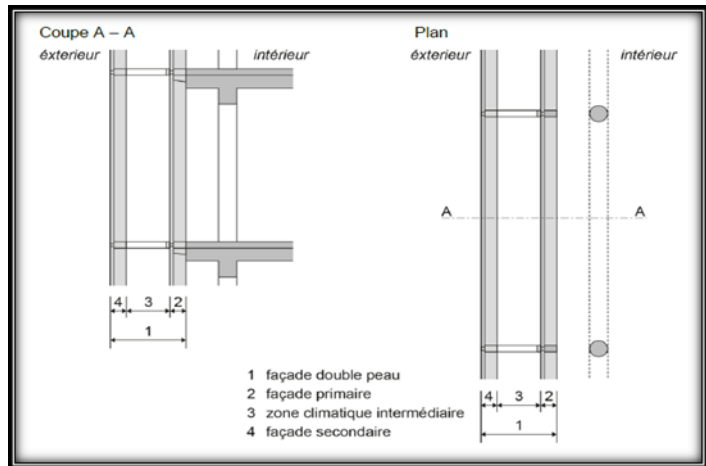
<sup>74</sup> Vereinigung Kantonal, « Bâtiments à façades double-peau », Note Explicative De protection incendie, 01 janvier.2015 /102-15/ Fr.

**b. La peau intérieure**

Généralement c'est la façade du bâtiment.

**c. Un espace tampon**

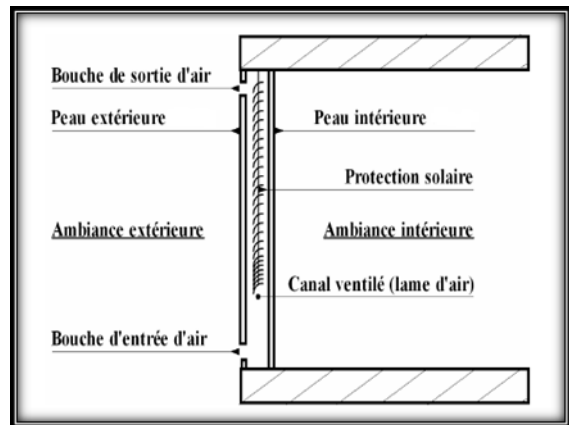
Formant un canal d'air entre les deux peaux de la façade, l'épaisseur de ce canal est différente d'une façade à une autre. Cette dernière et varie entre 10cm et 2m pour le cas des atriums ; la hauteur minimale des canaux est d'un étage et peut s'étendre sur plusieurs étages. Le canal de la façade de type



**Figure 3.42 :** les composants d'une façade double peau  
**Source :** [http://www.praever.ch/fr/bs/vs/erlaeuterungen/Seite\\_n/102-15\\_web.pdf](http://www.praever.ch/fr/bs/vs/erlaeuterungen/Seite_n/102-15_web.pdf)

double peau est généralement ventilé à l'aide d'un système mécanique ou naturelle. Egalement une ventilation hybride ou mixte est souvent utilisée pour le cas des grands bâtiments.<sup>75</sup>

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.



**Figure 3.43 :** façade double peau et ces différents composants  
**Source :** [http://www.praever.ch/fr/bs/vs/erlaeuterungen/Seiten/102-15\\_web.pdf](http://www.praever.ch/fr/bs/vs/erlaeuterungen/Seiten/102-15_web.pdf)

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.

**d. 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.

<sup>75</sup>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.

## 5.5.2. Les principaux types de FDP

### A. 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.

### B. 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 y a Le Mur Capteur Le mur Trombe-Michel la Véranda.

## 5.5.3. Mode de fonctionnement des façades double peau :

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

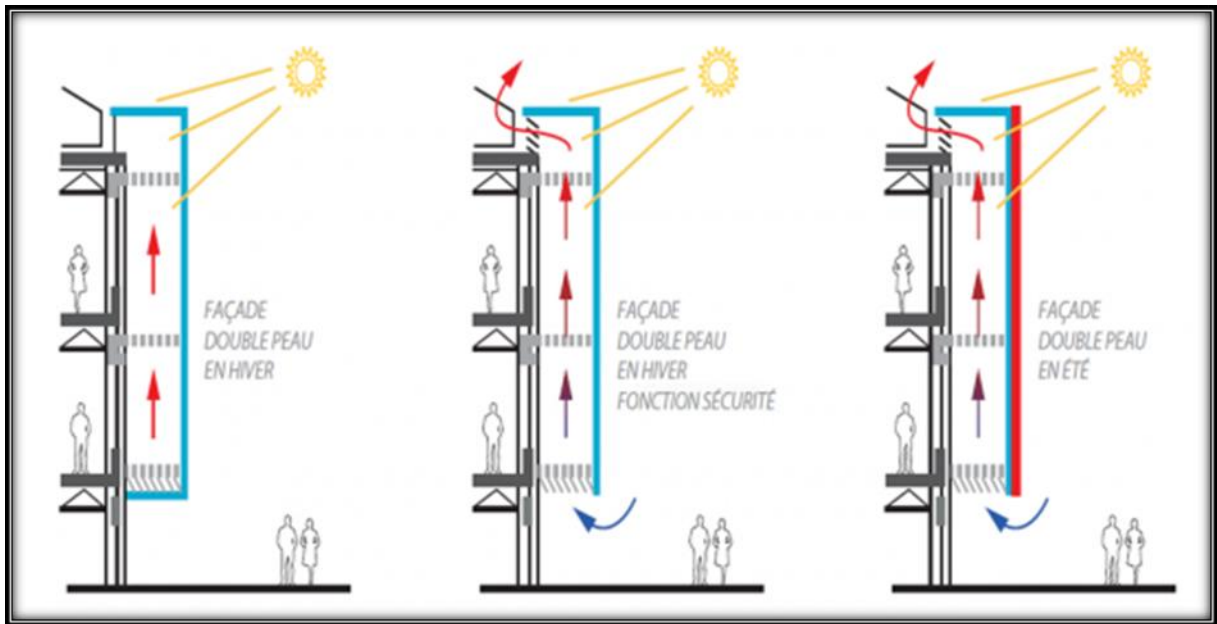
### ➤ En hiver :

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.

### ➤ 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.<sup>76</sup>

<sup>76</sup> Mémoire master académique en architecture, option : architecture et technologie « confort thermique intérieur des constructions par les procédés passifs » année 2015, université de Jijel, p48



**Figure 3.44** : mode de fonctionnement d'une façade double peau  
Source : [www.guichetdusavoir.org](http://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<sup>77</sup>.

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).<sup>78</sup>

<sup>77</sup>Valentin-Florian GAVAN, « Gestion intelligente et performance énergétique des façades actives de type "double-peau" », 07/10/2009, Thèse ADEME, p75

<sup>78</sup> HERZOG, T. KRIPPNER, R., LANG, W., « Construire des façades », Presses polytechniques universitaires Romandes, Lausanne, 2007, p250.



### **Conclusion :**

L'enveloppe du bâtiment remplit la fonction intermédiaire entre l'extérieur et l'ambiance intérieure. Les matériaux qui la composent ont une très grande influence sur la température ambiante. Quantitativement, leur effet dépend de leur épaisseur et leurs propriétés thermo-physiques.

Le traitement des enveloppes efficace est le meilleur moyen pour atteindre le confort thermique des occupants et aussi de diminuer la facture de chauffage. Alors qu'aujourd'hui, 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.

## Introduction

La qualité de l'enveloppe architecturale se mesure essentiellement à sa performance vis-à-vis les conditions du contexte où elle s'inscrit, afin de convertir les conditions extérieures défavorables à des ambiances internes agréables. A ce stade, nous avons envisagé d'effectuer une étude à l'aide d'un logiciel de simulation, dans le but de déterminer l'ensemble des critères à prendre en compte dans la réalisation d'une enveloppe performante.

Nous avons choisis comme cas d'étude, un établissement scolaire, qui est le lycée MAKHLOUF Hessnaoui, pour être en cohérence avec notre thème du projet de fin d'étude « lycée à haute performance énergétique a Jijel », où il va nous servir des donner de base dans la conception du projet.

Ce chapitre présent donc, le premier axe dans notre partie opérationnelle visant à définir le cas d'étude et les paramètres climatiques où il s'inscrit, dans l'objectif d'une expérience de simulation en déterminant l'outil utilisé ainsi que l'échantillon à étudier.

## 1- Présentation du site

### 1.1- Présentation de la commune de « Jijel » :

La commune de Jijel se situe dans le Nord-Est de l'Algérie, entre 36°46' et 36°50' de latitude Nord, 5°40' et 5°49' de longitude Est. Elle présente 2,6% du territoire de la wilaya avec une superficie de 6 238 hectares, bordée :

- Au nord par la mer méditerranéenne.
- Au sud par la commune de Kaous.
- A l'est par la commune d'Emir Abdelkader.
- A l'ouest par la commune d'El Aouana.

Appartenant à la zone littorale, le territoire communal de Jijel est constitué de petites



Figure 4.45 : communes de la wilaya de Jijel  
Source : Wikipédia

plaines littorales, de reliefs littoraux de faible altitude et de basses collines entaillées dans des sédiments tendres, dont les caractères découlent de l'influence de la méditerranée voisine : forte pluviosité, tapis végétal assez dense, cours d'eau pérennes coulant vers le Nord, érosion intense...

**1.2- L'étude Climatologique :**

Le climat décrit les conditions externes qui agissent sur la performance du bâtiment, en influençant son comportement thermique, lumineux ainsi que sa consommation d'énergie. Il est donc nécessaire de connaître les conditions climatiques pour la simulation d'un projet.

Ces conditions sont, généralement, les températures et l'humidité de l'air, les conditions de vent. Elles constituent l'ensemble de donnée de base pour les outils de simulation numérique.

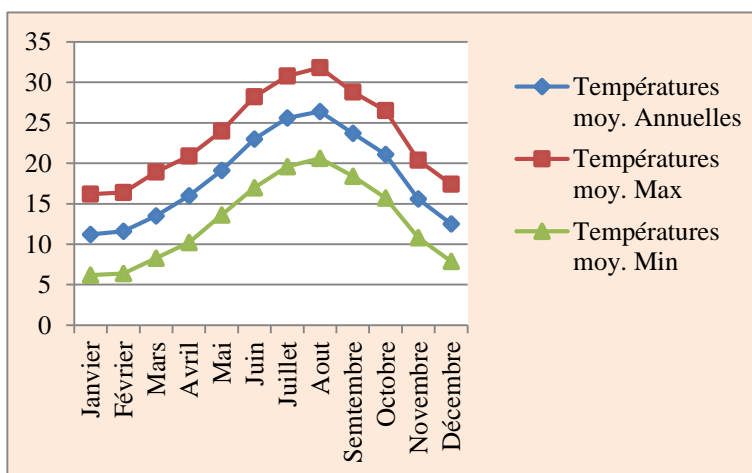
Comme toutes les régions du littoral Algérien, la commune de JIJEL, à laquelle appartient la zone d'étude côtière, bénéficie d'un climat méditerranéen, humide à variante douce, très pluvieuse. Caractérisé par l'alternance d'une saison froide avec forte précipitation en hiver, et d'une autre chaude et sèche en été.

**1.2. a- Les températures :**

**Tableau 4.3 :** Les températures moyennes mensuelles à Jijel (1999-2008).  
(Source : Station météorologique de Jijel)

Mois	J	F	M	A	M	JU	JL	AO	S	O	N	D
Températures moyennes annuelles (C°)	11.2	11.6	13.5	16.0	19.1	23.0	25.6	26.4	23.7	21.1	15.6	12.5
Températures moy. Max (C°)	16.2	16.4	18.9	20.9	24	28.2	30.8	31.8	28.8	26.5	20.4	17.4
Températures moy. Min (C°)	6.2	6.4	8.3	10.2	13.6	17.0	19.6	20.6	18.4	15.7	10.8	7.9

Les températures de la zone côtière connaissent un adoucissement grâce à la présence d'une végétation abondante d'eau vive et de la mer, dont la température moyenne maximale correspond au mois d'août avec 31,8 °C tandis que la moyenne minimale est marquée au mois de janvier avec 6,2°C.



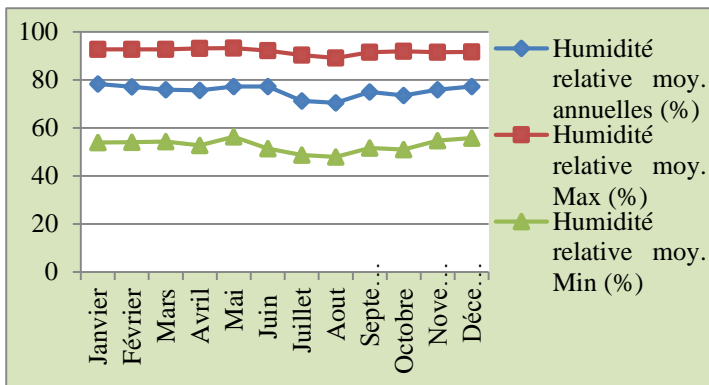
**Figure 4.46 :** Courbe d'évolution des températures moyennes mensuelles à Jijel (1999-2008).  
Source : Station météorologique de Jijel

**1.2. b- L'humidité :**

**Tableau 4.4 :** L'humidité relative mensuelle à Jijel (1999-2008).  
**Source :** Station météorologique de Jijel

Mois	J	F	M	A	M	JU	JL	AO	S	O	N	D
Humidité relative moy. annuelles (%)	78.4	77.1	75.9	75.7	77.3	77.3	71.3	70.5	75	73.6	75.9	77.3
Humidité relative moy. Max (%)	92.8	92.7	92.7	93.2	93.3	92.2	90.4	89.1	91.6	92	91.6	91.7
Humidité relative moy. Min (%)	54	54.1	54.4	52.8	56.4	51.4	48.8	48	51.7	51.1	54.8	55.9

Les valeurs sont relativement homogènes, dont les variations sont très petites entre les différentes valeurs, ayant des valeurs très élevées en hiver comme en été. Nous notons un maximum au mois de Mai (93.3%) et un minimum au mois d'Octobre (51.1%).



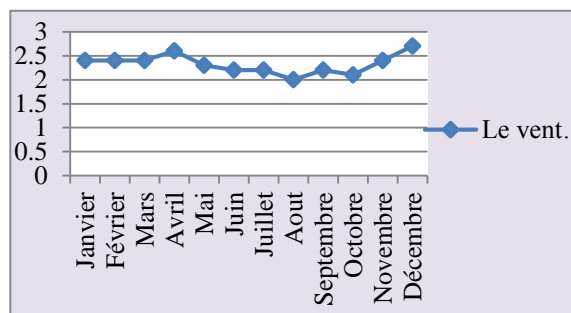
**Figure 4.47 :** moyennes mensuelles de l'humidité absolue dans la ville de Jijel (1999-2008).  
**Source :** Station météorologique de Jijel

**1.2. c- Le vent :**

**Tableau 4.5 :** Les vitesses du vent mensuelles à Jijel (1999-2008).  
**Source :** Station météorologique de Jijel

Mois	J	F	M	A	M	JU	JL	AO	S	O	N	D
Vent moy (m/s)	2.4	2.4	2.4	2.6	2.3	2.2	2.2	2	2.2	2.1	2.4	2.7

On constate que la vitesse moyenne du vent est de 2 à 2,7 (m/s) de léger à modéré, dont elle atteint son maximum au cours de l'hiver ayant au mois de Décembre la valeur de 2,7 (m/s) et en Aout la valeur de 2(m/s).

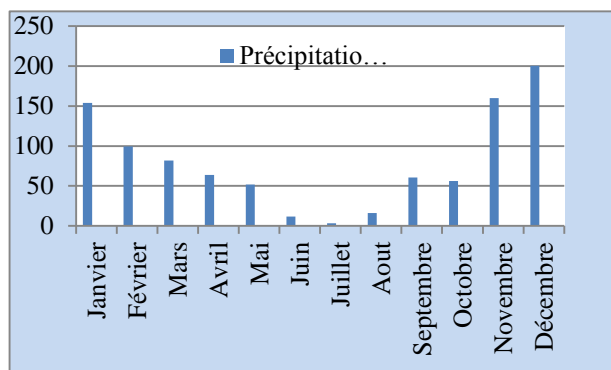


**Figure 4.48 :** Moyennes mensuelles de la vitesse du vent enregistrées en (m/s) à Jijel (1999-2008).  
**Source :** Station météorologique de Jijel

On remarque une certaine stabilité du mois de Janvier jusqu'au mois de Mars.

**1.2. d- Les précipitations :**

On constate que les pluies se manifestent essentiellement en automne et en hiver. Les précipitations y sont abondantes aux mois de Novembre, Décembre et Janvier et sont quasiment nulles aux mois de Juin, Juillet et Août.



**Figure 4.49 :** Histogramme des précipitations à Jijel (1999-2008).

Source : Station météorologique de Jijel

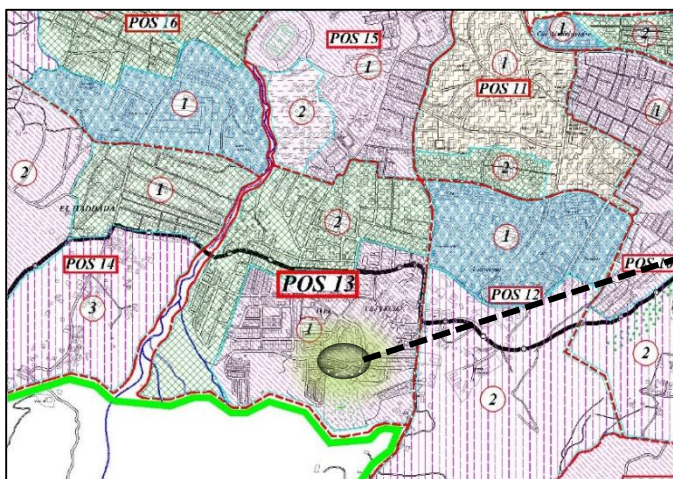
**1.2. e. L'évaporation :**

Pour la région de Jijel, l'évaporation moyenne sur une nappe d'eau libre dépasse les 1000 mm/an au mois d'août et le minimum est marqué au mois de Janvier (40 mm /an).

**2- Présentation du cas d'étude**

Dans le but d'évaluer l'impact de l'enveloppe extérieure du bâtiment sur le confort thermique nécessaire, nous avons choisis comme objet de simulation l'établissement d'enseignement scolaire secondaire du cycle 2, le lycée MEKHLLOUF Hesnaoui Ben Mokhtar.

L'établissement d'enseignement secondaire réalisé au Sud de la ville de Jijel vers une distance environ de 3,5 km, dans le nouveau quartier de l'Ekété en 2008. Il a été réalisé par le bureau d'étude LARABA et BOUHOUHOU sur un terrain de 8240,5m<sup>2</sup>. Situé au POS 13, desservis de tous les côtés par des voies de circulation assurant une bonne accessibilité au lycée. Il n'est que le résultat d'une autre adaptation au sol du même plan type 1000 places pédagogiques.



**Figure 4.50 :** situation du lycée MAKHLOUF Hessnaoui

Source : PDAU Jijel.



**Photo 4.12 :** lycée MAKHLOUF Hessnaoui

Source : Auteur.

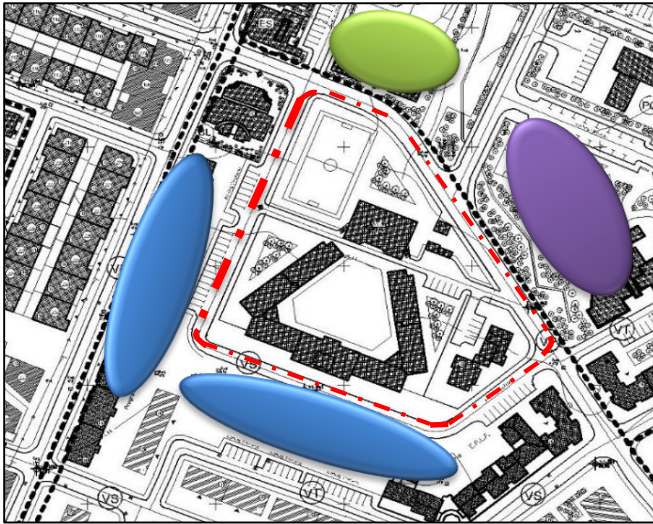


Figure 4.51 : délimitation du lycée MAKHLOUF Hessnaoui

Source : PDAU Jijel.

Le lycée est limité :

- Au côté Sud et Ouest : par habitation collectifs.
- Au côté Nord : par le CEM Tab Al-Zrara.
- Au côté Nord-Est : par des équipements de service.

### 2.1- Organisation et Orientation :

Ce lycée se compose de deux entités séparées essentiellement par une voie secondaire projeté à l'intérieur, La conception générale en plan du lycée est de forme U. la première entité est composée de 03 parties distinctes. La première comporte un bâtiment administratif ou le rez-de-chaussée contient, une salle polyvalente, salle des profs, un bureau d'orientation, ainsi que des classes pédagogiques en R+1 orientés (Nord/Sud), aussi l'administration au 2eme étage, et une grande bibliothèque au 3eme étage, la 2eme et la 3eme partie sont des blocs pédagogique abrite des classes orienté Nord-Est et Nord-Ouest avec 2 bloc sanitaire aux extrémités des blocs. Le tout est organisé autour d'une cour de récréation. la 2eme entité comporte la salle de sport avec bloc atelier ainsi qu'un ensemble de locaux techniques. Le Lycée s'étale sur une superficie de 8240.5m<sup>2</sup>.

### 3- Présentation de l'échantillon d'étude

La conception des salles de classe est un thème rapportant directement au développement des individus, de ce fait la salle de classe ne doit pas se considérer en tant qu'espace rectangulaire muni de meubles scolaires mais plutôt comme interaction de différents facteurs d'une ambiance. L'environnement extérieur et intérieur de cette espace ayant la capacité de favoriser ou défavoriser les activités des étudiants et des enseignants, il influe sur leur santé, leur confort, leur déroulement et leur bien-être.

Alors, nous avons choisi comme objet de simulation de départ dans cette recherche, l'échantillon, une salle de classe au 1<sup>er</sup> étage exposé au nord-Sud se trouve au bloc A.

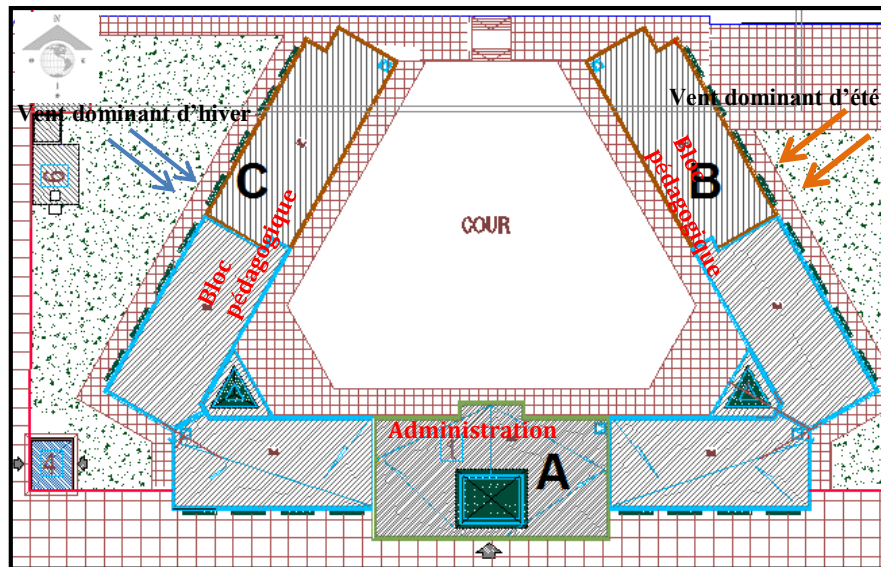


Figure 4.52 : Plan de masse du lycée MAKHLOUF Hessnaoui  
(Source : auteur).

#### 4- Les critères d'analyse pour les classes

Deux facteurs principaux participent à l'analyse typologique de l'enveloppe qui sont ; la forme tridimensionnelle globale du bâtiment et le type de son enveloppe résumé dans les façades et les matériaux de construction. Alors cette analyse est basée sur les critères suivants :

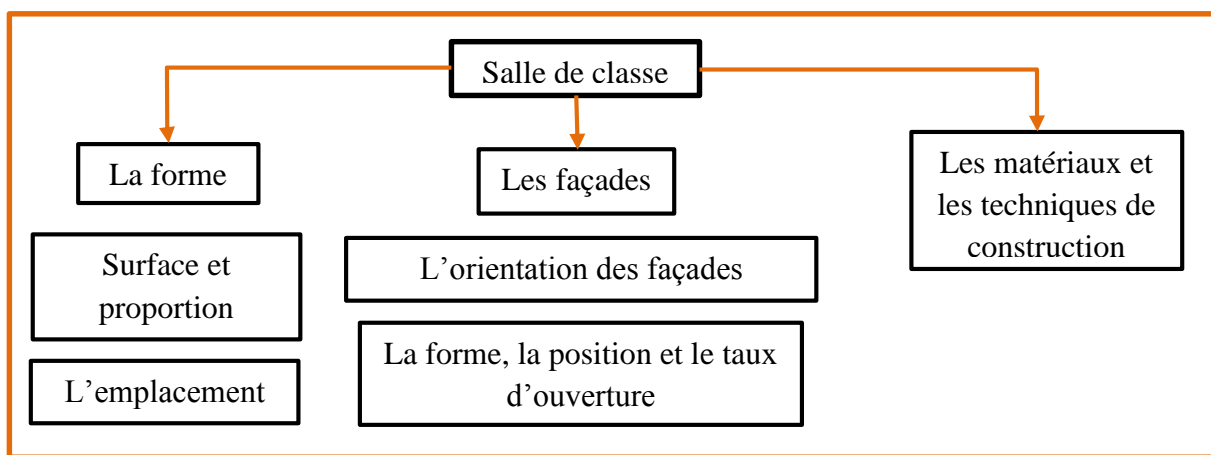


Schéma 4.1 : les critères d'analyse  
Source : auteur.

### 4.1- La forme des salles de classe :

Déterminée par :

L'emplacement : vertical et horizontal des salles de classe :

Localisation de la salle au niveau de plan de RDC.

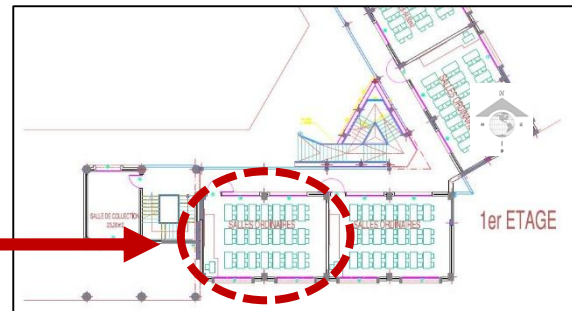


Figure 4.53 : l'emplacement des salles par rapport aux plans.  
Source : auteur.

La Proportion : qui représente le rapport entre la largeur et la profondeur.

Surface : 64.80 m<sup>2</sup>  
Proportion :  $6.65 / 9.90 = 0.67 = 2/3$

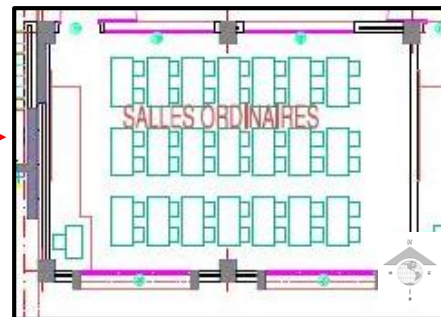


Figure 4.54 : Plan des salles de classe.  
Source : auteur (autocad2014).

### 4.2- Les façades :

L'orientation des façades :

Salle n°1 : Deux façades libres dont la principale est orientée au SUD



Figure 4.55 : vue en perspective aux façades des salles.  
Source : auteur (sketchup2013).

### Les ouvertures :

Les ouvertures sont l'élément le plus critique en raison de leur complexité. Selon leurs dimensions, et position dans la façade, elles influencent sur le confort des élèves dans les salles.

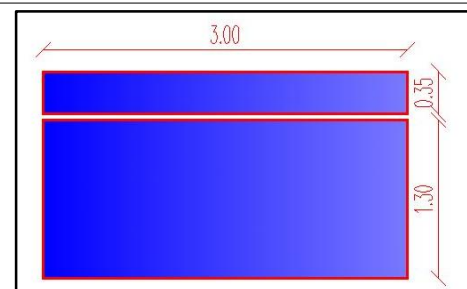
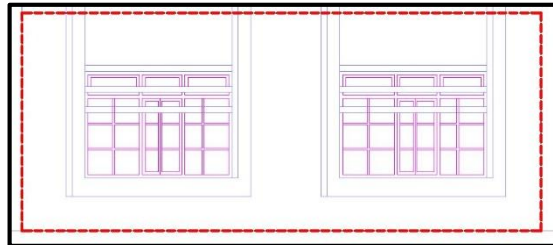


Figure 4.56 : la typologie des fenêtres.  
Source : auteur (autocad2014).



On trouve les caractéristiques pour la salle :

- Une forme classique, rectangulaire et simple.
- types des fenêtres : horizontale d'une position moyenne avec des impostes.
- La surface vitrée sur la façade : 9.90 m<sup>2</sup>
- Le taux d'ouverture représente le rapport entre la surface vitrée et la surface de la façade « 24% ».



**Figure 4.57 : façade sud.**  
Source : auteur (autocad2014).

### 4.3- Les matériaux de construction :

Les matériaux sont l'élément essentiel qui couvre l'enveloppe intérieure, extérieure, verticale ou horizontale d'un bâtiment, ayant un rôle esthétique et structurel qui peut créer des ambiances intérieures agréables par la régulation de l'environnement extérieur.

Dont notre cas utilise principalement deux types des murs, avec une épaisseur de 10 cm et de 30 cm au mur en contact avec l'extérieur. Le parpaing au plafond.



**Figure 4.58 :** les matériaux de construction du lycée MAKHLOUF Hessnaoui  
Source : google image

Les propriétés physiques résumées dans le tableau sous-dessous :

	Epaisseur (mm)	Densité (kg/m <sup>3</sup> )	Chaleur Spécifique (j/kg.k)	Conductivité thermique (w/m.k)
Enduit ciment	20	1900	864	0.8
Brique ext..	150	650	1008	0.39
Lame d'air	50	1	1000	0.28
Brique int.	100	650	1008	0.39
Enduit ciment	10	1900	864	0.8

**Tableau 4.6 :** les propriétés physique des matériaux de construction.  
Source : auteur.

## 5- La simulation

### 5.1- Définition :

La simulation est un outil informatique, numérique. Utilisée par les architectes et les concepteurs comme moyen d'estimation sur la qualité environnementale des bâtiments (efficacité énergétique, l'éclairage...). Dont les résultats sont représentés par une série de données, une image ou même un film vidéo.

### 5.2- L'objectif de la simulation :

L'idée principale est d'évaluer l'impact de l'enveloppe architecturale des salles de classe sur le confort intérieur et d'obtenir les résultats quantitatifs sur le comportement hygrothermique. En même temps, confirmer l'effet positif de l'amélioration de l'enveloppe sur la performance environnementale et énergétique du bâtiment.

Cette simulation touche un paramètre ayant un rôle primordial à la conception des classes qui est :

- La température ambiante.

### 5.3- Les outils d'investigation :

#### 5.3.a- Les logiciels de simulation. « ECOTECT » :

Parmi les logiciels qui traitent l'enveloppe du bâtiment « ECOTECT » qui fait un bon exemple pour notre cas. C'est un outil d'analyse simple donnant des résultats relativement précis et visuellement efficaces. ECOTECT est Un logiciel de modélisation 3D, de simulation solaire, de confort thermique, d'ensoleillement, et d'éclairage (naturel et artificiel). Conçu pour réaliser une conception environnementale plus efficace et plus performante.

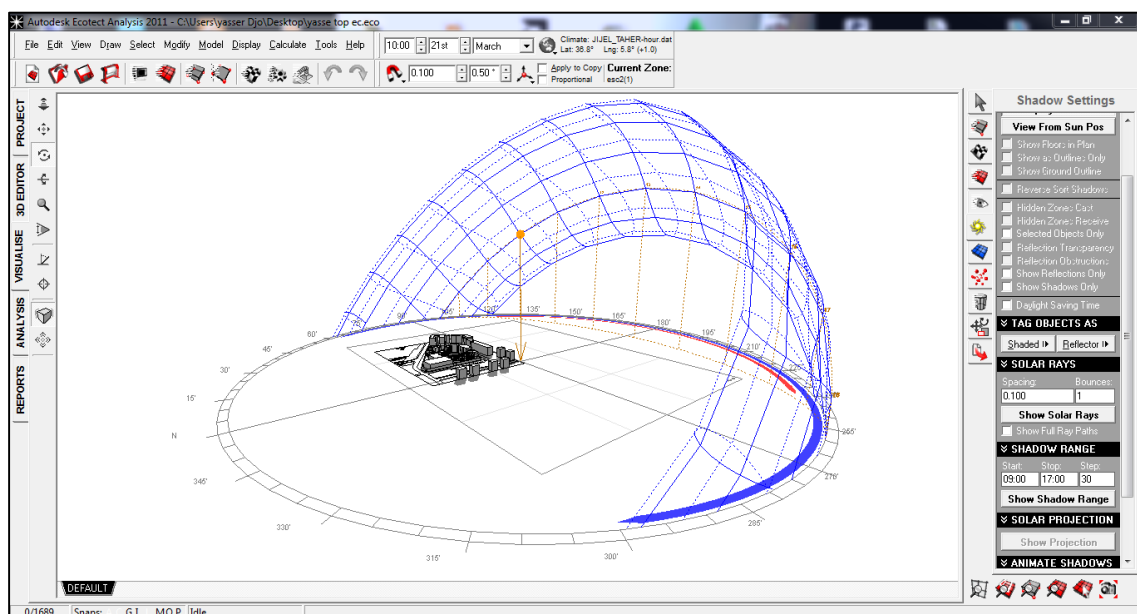
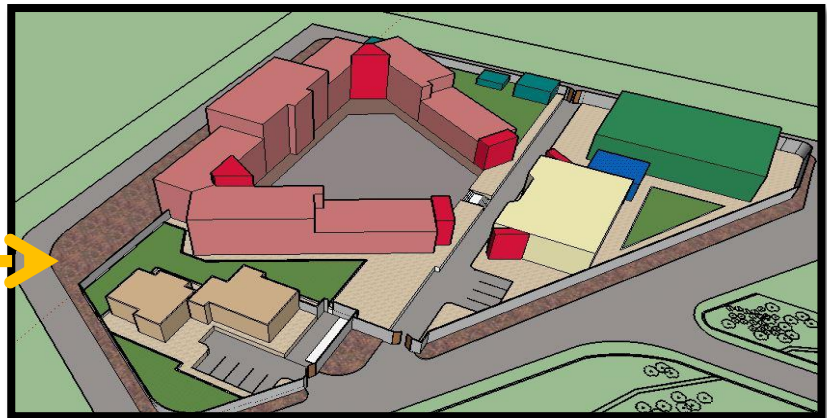


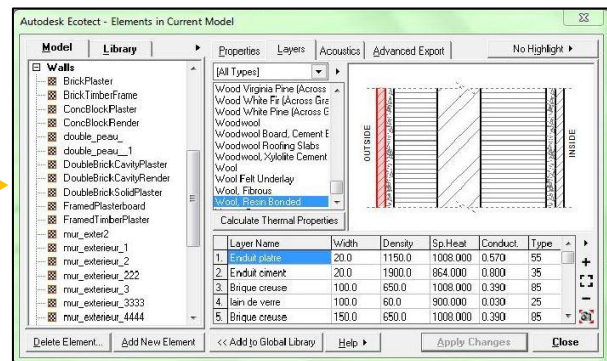
Figure 4.59 : Capture d'écran du logiciel ECOTECT<sup>2011</sup>.  
Source : auteur.

Les démarches :

- 1-Importer les plans AUTOCAD (enregistrée sous format DXF à l'ECOTECT).  
 - Dessiner en 3D le projet



- 2- Choisir les matériaux de construction de chaque élément  
 - Définir les différentes propriétés de chaque zone (données générales, propriétés thermiques).



- 3- Télécharger les données climatiques de la région de Jijel.  
 - Donner un nom au dessin ;  
 - Fixer le type du bâtiment étudié, fixer le Nord et l'environnement du bâtiment (urbain, rural, etc.).

**LOCATION DATA**

JIJEL  
 Algeria  
 +1:00 Paris  
 Latitude: 36.5  
 Longitude: 5.5  
 Altitude: 8.0  
 Sky (Lux): 0

**CLIMATE SUMMARY**

NAME: JIJEL LOCATION DESIGN SM ALTITUDE: 8.0  
 Daylight (hrs)  
 Radiation (W/m²)

Parameter	Value
ProjectTitle	Lycee MAKHLOUF HESNAOUI
Description	simulation ...
JobReference	
ClientName	
BuildingType	Scolaire - educatif
<b>EXTERNAL_FILE_REFERENCES</b>	
WeatherDataFile	E:\D\Med Amine\donner climatique Jijel\donner climatique jijel wea
AutoRunScript	

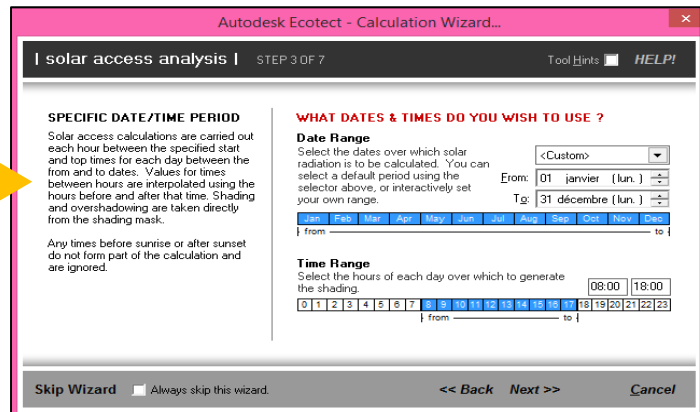
**Site Location**

Latitude: 36.8000° Longitude: 5.6000°  
 Local Time Zone: +1:00 Paris  
 End... Map...  
 Use Google maps...

**Site Specifics**

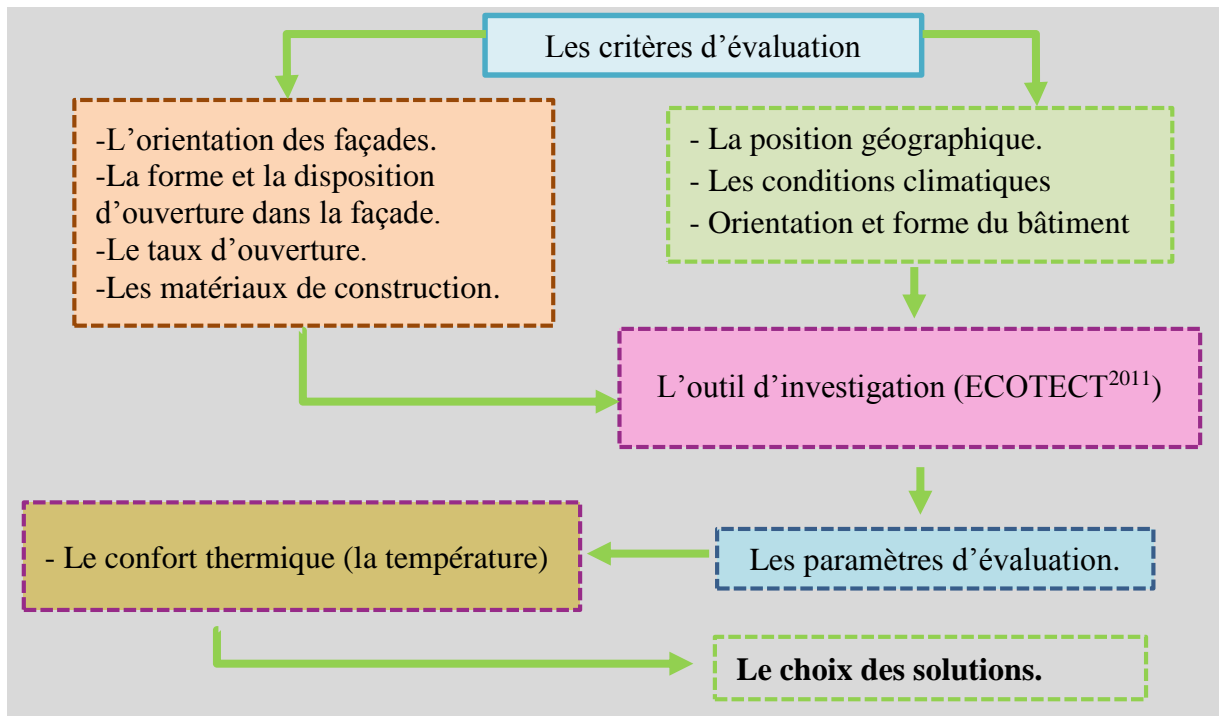
North Offset: 0.0°  
 Altitude: 0.0  
 Local Terrain: Urban  
 Show Project Page when Opening Model

- 4- Définir le paramètre à mesurer (température.).
- Définir la période et l'heure d'étude.
  - Lancer l'analyse.



**5.4- La méthodologie de la simulation :**

L'investigation est basée sur la simulation. Dont elle consiste à utiliser le logiciel ECOTECT<sup>2011</sup> pour l'estimation de la température ambiante.



**Schéma 4.2 :** un résumé sur la méthodologie de cette simulation.  
**Source :** auteur.

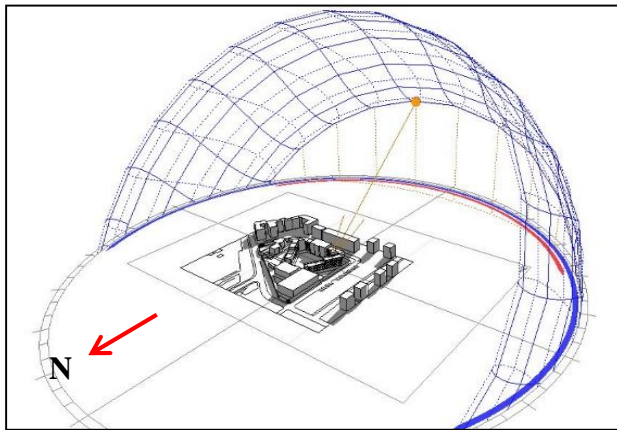
**Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons cernés toutes les parties nécessaires pour lancer une analyse d'un cas d'étude, à partir de l'identification de l'environnement dans lequel il s'inscrit (climatologie, situation...), la détermination de l'enveloppe d'échantillon, et l'indication des outils d'investigation. Tout ça pour assurer au mieux la relation entre l'enveloppe et son environnement, dont la réponse sur ce rapport s'effectuera dans le chapitre qui suit, Par l'évaluation des ambiances internes d'une salle de classe proposée au paravent.

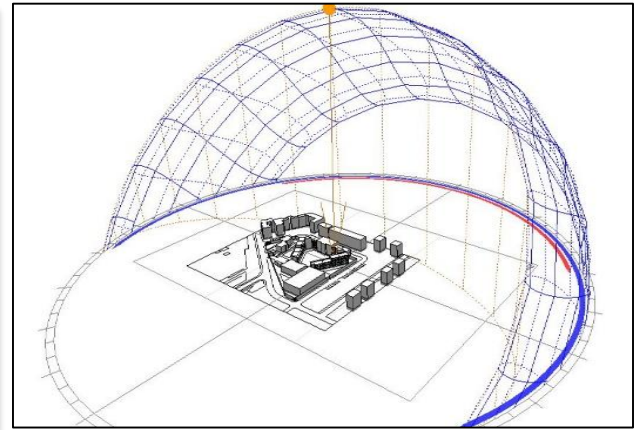
## Introduction

Dans ce chapitre nous allons aborder un ensemble des résultats des séries de calcul effectué sur ordinateur par le logiciel Ecotect<sup>2011</sup>, elle aboutit à la description du résultat comme s'il s'était réellement dérouler. Ces résultats seront commenté et comparés entre les échantillons, et représenter comme image, ou une série de calcule.

### 1-L'étude d'ombre et ensoleillement



**Figure 5.60 :** Diagramme solaire au 21 décembre pour le lycée MAKHLOUF Hessnaoui.  
**Source :** auteur.



**Figure 5.61 :** Diagramme solaire au 21 Juin pour le lycée MAKHLOUF Hessnaoui.  
**Source :** auteur.

Notre première étape consiste à l'étude extérieure du lycée en matière d'ombre et d'ensoleillement, dont les figures ci-dessus présentent les diagrammes solaires réalisées via ECOTECT<sup>2011</sup>, au 21 décembre où la hauteur du soleil est minimale, ainsi qu'au 21 juin, la journée où le soleil atteint sa hauteur maximale.

On se concentre sur l'étude l'ombre est l'ensoleillement du bloc pédagogique où se trouvent l'échantillon (la salle de classe) durant les journées spécifiques de l'année à 10h, 12h, et 14h, les heures pendant lesquelles le bloc serra le plus exposé au rayonnement solaires. Les résultats sont cernés dans le tableau suivant :

**Tableau 5.7 :** Etude l'ombre et d'ensoleillement.  
**Source :** auteur.

jour	à 10 :00	à 12 :00	à 14 :00
21 Septembre			
21 Décembre			
21 Mars			

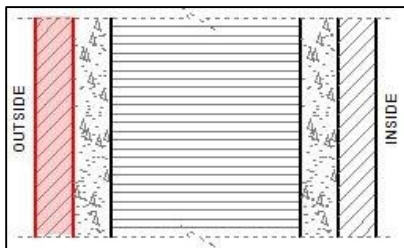
On remarque que le bloc pédagogique à étudier, est orienté Nord-Sud, dont la façade Nord est privée du rayonnement solaire (façade complètement ombrée) tout au long de l'année à partir de 12h. Tandis que la façade Sud est complètement ensoleillée toute l'année.

## 2. Modèle de construction prévue pour la simulation

### 2.1. Composition des éléments constructifs de l'enveloppe du modèle 01 (cas initial) :

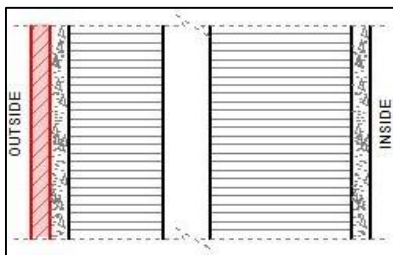
Le premier modèle sélectionné est celui qui le plus répandu en Algérie, aussi c'est celui qui existe dans notre cas d'étude. Les murs de façades plus le mur à côté de la cage d'escalier sont constitué d'une double paroi de brique creuse séparée par une lame d'air. Le deuxième mur (intérieur) se constitue d'une paroi de brique creuse de 10 cm .Le revêtement est en enduit de ciment à L'extérieur, plus de plâtre à l'intérieur. Les fenêtres sont équipées d'un simple vitrage clair de 4 mm d'épaisseur. Les portes sont en bois de 4cm d'épaisseur.

#### ➤ Caractéristique du mur intérieur :



Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type
1. Enduit platre	20.0	1150.0	1008.000	0.570	55
2. Enduit ciment	20.0	1900.0	864.000	0.800	35
3. Brique creuse	100.0	650.0	1008.000	0.390	85
4. Enduit ciment	20.0	1900.0	864.000	0.800	35
5. enduit platre	20.0	1150.0	1008.000	0.570	55

#### ➤ Caractéristique du mur extérieur :



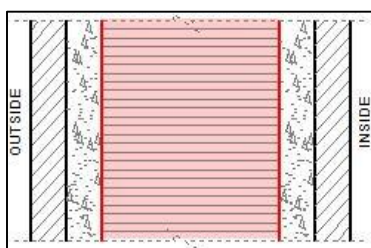
Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type
1. Enduit platre	20.0	1150.0	1008.000	0.570	55
2. Enduit ciment	20.0	1900.0	864.000	0.800	35
3. Brique creuse	100.0	650.0	1008.000	0.390	85
4. lame d'air	50.0	1.0	1000.000	0.047	5
5. Brique creuse	150.0	650.0	1008.000	0.390	85
6. Enduit ciment	20.0	1900.0	864.000	0.800	35

### 2.2. Composition des éléments constructifs de l'enveloppe du modèle 02 (Scénario 01) :

Le second modèle sélectionnée, les murs de façade se constitue d'une double paroi, du brique creuse au côté intérieur, isolant laine de verre séparant les deux parois, brique joint mince coté extérieur. Les revêtements est en enduit de ciment et de plâtré à l'extérieur et intérieur.

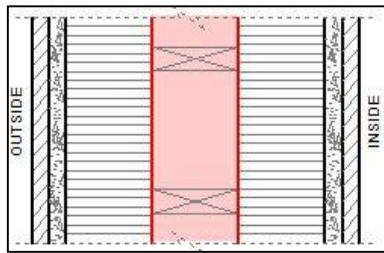
Les murs d'intérieur se compose d'une paroi de la brique joint mince, une couche d'enduit ciment et une autre de plâtre. Les fenêtres sont équipées d'un double vitrage clair de 6 mm d'épaisseur séparé par une lame d'aire de 20mm. Les portes sont en bois de 4cm d'épaisseur.

#### ➤ Caractéristique du mur intérieur :



Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type
1. Enduit platre	20.0	1150.0	1008.000	0.570	55
2. Enduit ciment	20.0	1900.0	864.000	0.800	35
3. Brique joint mince	100.0	650.0	1008.000	0.200	85
4. Enduit ciment	20.0	1900.0	864.000	0.800	35
5. enduit platre	20.0	1150.0	1008.000	0.570	55

➤ **Caractéristique du mur extérieur :**



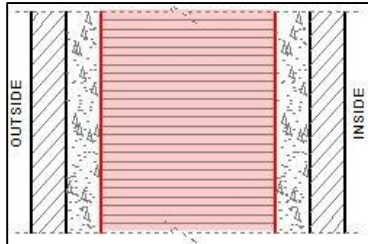
Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type
1. Enduit platre	20.0	1150.0	1008.000	0.570	55
2. Enduit ciment	20.0	1900.0	864.000	0.800	35
3. Brique joint mince	100.0	650.0	1008.000	0.200	85
4. laine de verre 60 kg/m3	100.0	60.0	1030.000	0.038	15
5. Brique creuse	100.0	1850.0	1000.000	1.000	85
6. Enduit ciment	20.0	1900.0	864.000	0.800	35
7. Enduit platre	20.0	1150.0	1008.000	0.570	55

**2.3. Composition des éléments constructifs de l’enveloppe du modèle 03 (Scénario 02) :**

Nous avons choisi pour le troisième modèle à étudier, le mur de façade nord se constitue d’une double paroi de brique creuse au côté intérieur, isolant laine de verre séparant les deux parois, brique joint mince coté extérieur. Le revêtement est en enduit de ciment et de plâtre à l’extérieur et intérieur. Le mur de la façade Sud est remplacé par une façade à double peau en verre qu’elle se compose d’une vitre cotée intérieur, une lame d’air de séparation de 60cm, puis une deuxième vitre représente la 2<sup>ème</sup> peau. Les murs d’intérieur se compose d’une paroi de la brique joint mince, une couche d’enduit ciment et une autre de plâtre.

Les fenêtres sont équipées d’un double vitrage clair de 6 mm d’épaisseur séparé par une lame d’air de 20mm. Les portes sont en bois de 4cm d’épaisseur.

➤ **Caractéristique du mur intérieur :**



Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type
1. Enduit platre	20.0	1150.0	1008.000	0.570	55
2. Enduit ciment	20.0	1900.0	864.000	0.800	35
3. Brique joint mince	100.0	650.0	1008.000	0.200	85
4. Enduit ciment	20.0	1900.0	864.000	0.800	35
5. enduit platre	20.0	1150.0	1008.000	0.570	55

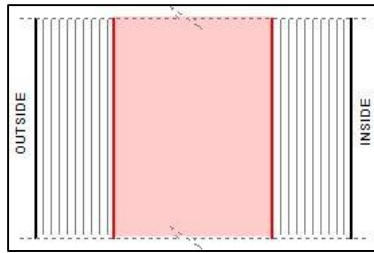
➤ **Caractéristique du mur de la façade Nord :**



Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type
1. Enduit platre	20.0	1150.0	1008.000	0.570	55
2. Enduit ciment	20.0	1900.0	864.000	0.800	35
3. Brique joint mince	100.0	650.0	1008.000	0.200	85
4. laine de verre 60 kg/m3	100.0	60.0	1030.000	0.038	15
5. Brique creuse	100.0	1850.0	1000.000	1.000	85
6. Enduit ciment	20.0	1900.0	864.000	0.800	35
7. Enduit platre	20.0	1150.0	1008.000	0.570	55



➤ **Caractéristique du mur de la façade Sud :**



Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type
1. verre	30.0	2300.0	836.800	1.046	75
2. aire	60.0	1.0	1000.000	0.280	5
3. verre	30.0	2300.0	836.800	1.046	75

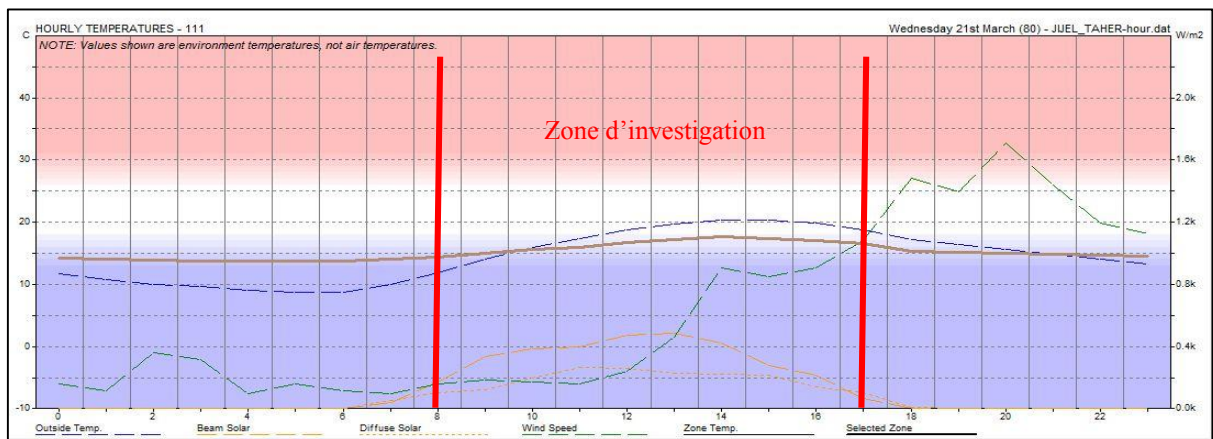
**3. Interprétation des Résultats de simulation**

Les résultats de la la simulation via ECOTECT <sup>2011</sup> se represente en courbles d'évaluation de température, désignées en 3 zones qui se distinguent par couleur( le rouge est la zone d'inconfort avec sensation du chaud, le blanc au milieu designe la bande optimale du confort, et le bleu la zone d'inconfort avec sensation du froid). L'étude s'effectuera pendant les journées spécifiques du 21( sep, dec, et mars).

La bande de confort est entre [18°C à 26°C].

**3.1. Model 01**

**Le 21 mars :**



**Figure 5.62 :** La courbe d'évolution temporelle de la température intérieure de la salle **Le 21 Mars.** (Source : auteur).

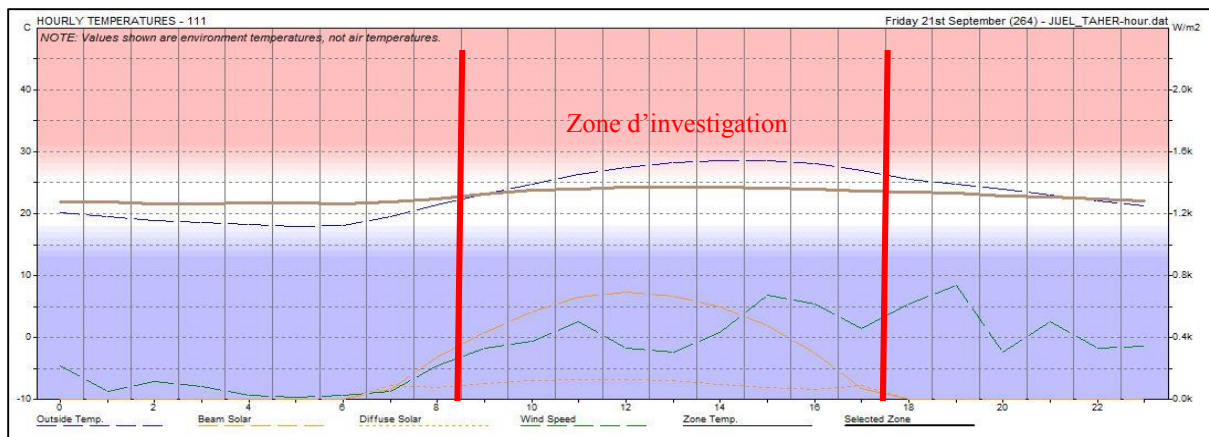
On remarque, que les températures intérieures durant la journée du 21 mars pour la classe sont à la limite inférieure de la zone confort, et près de la limite supérieure de la zone d'inconfort avec sensation du froid, et avec une température maximal de la journée environ 17°C.

On distingue :

[08:00 à 09:30] : la température intérieure dépasse celle de l'extérieur, tandis qu'elle est à la limite inferieur de la zone d'inconfort avec sensation du froid.

[09:30 à 17:00] : la température extérieure dépasse celle de l'intérieure, tandis qu'elle est à la limite inférieure de la zone du confort.

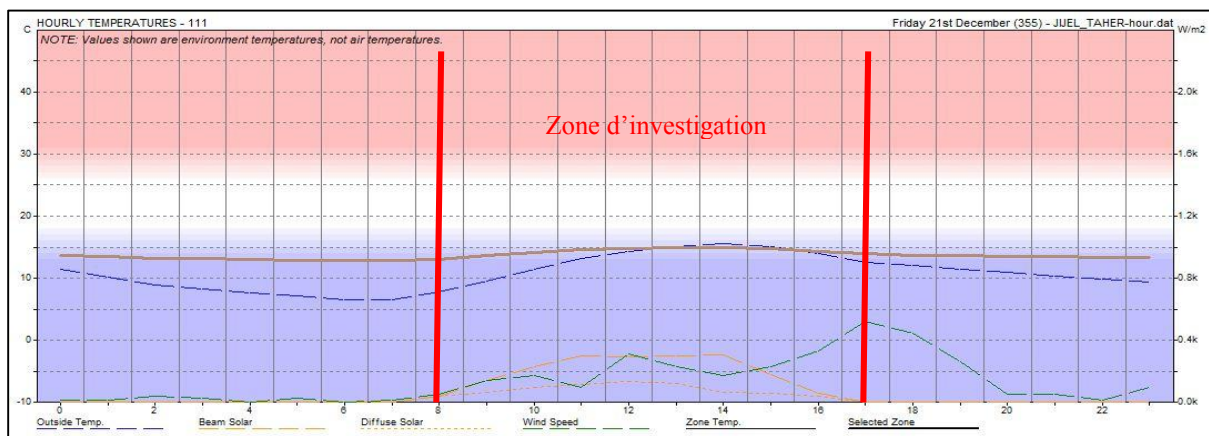
**Le 21 septembre :**



**Figure 5.63 :** La courbe d'évolution temporelle de la température intérieure de la salle **Le 21 septembre.** (Source : auteur).

On remarque, que les températures assurent la zone du confort avec une température maximale de 24.5°C. La température à l'extérieur dépasse celle de l'intérieur dans la plus part du temps de la journée.

**Le 21 décembre :**

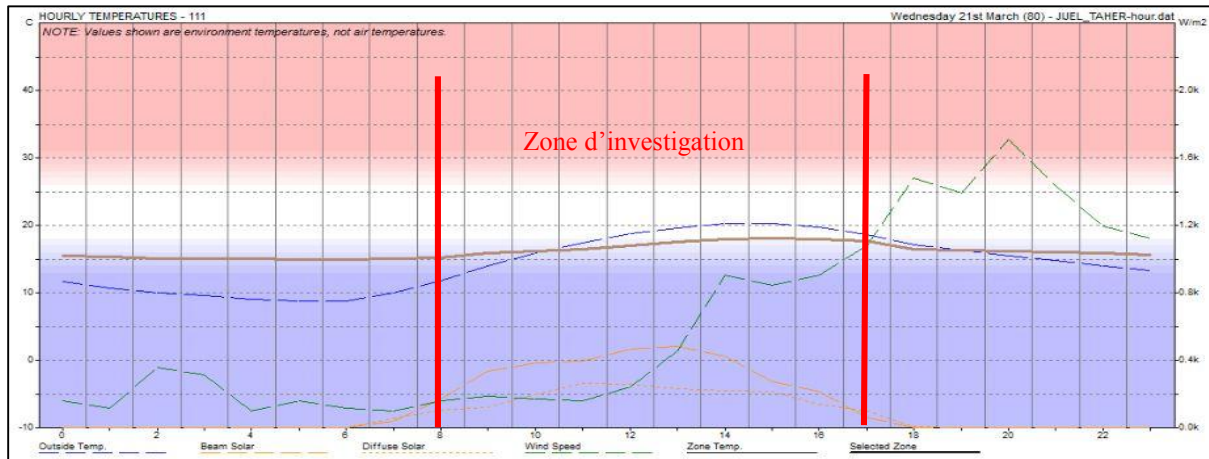


**Figure 5.64 :** La courbe d'évolution temporelle de la température intérieure de la salle **Le 21 décembre.** (Source : auteur).

On remarque, que les températures ont à la limite supérieure de la zone d'inconfort avec sensation du froid durant toute la journée avec une température maximale de 15°C.

## 3.2. Model 02

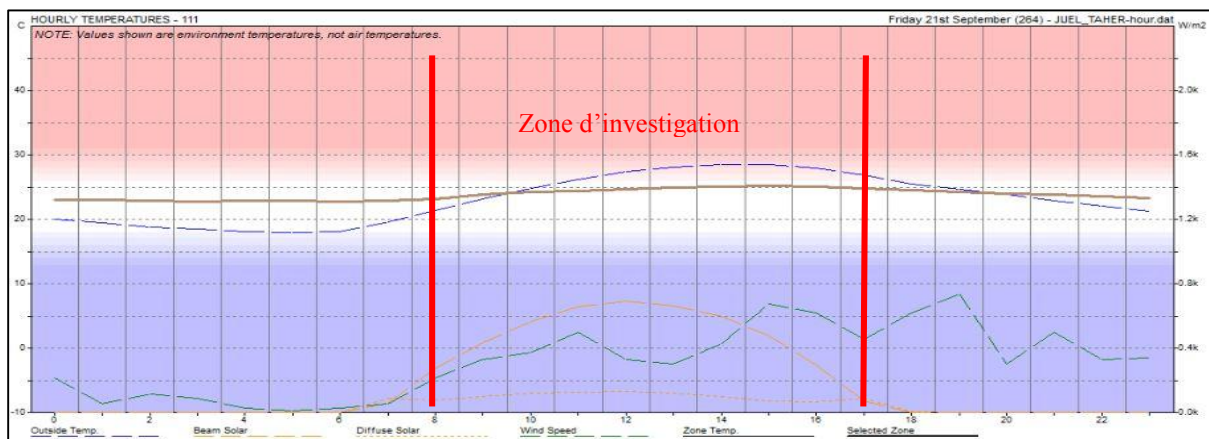
## Le 21 mars :



**Figure 5.65 :** La courbe d'évolution temporelle de la température intérieure de la salle  
**Le 21 Mars. (Source : auteur).**

On remarque, une amélioration des températures par rapport au 1<sup>er</sup> cas, surtout à la période de [08:00 à 09:30], où les températures sont à la limite inférieure de la zone du confort.

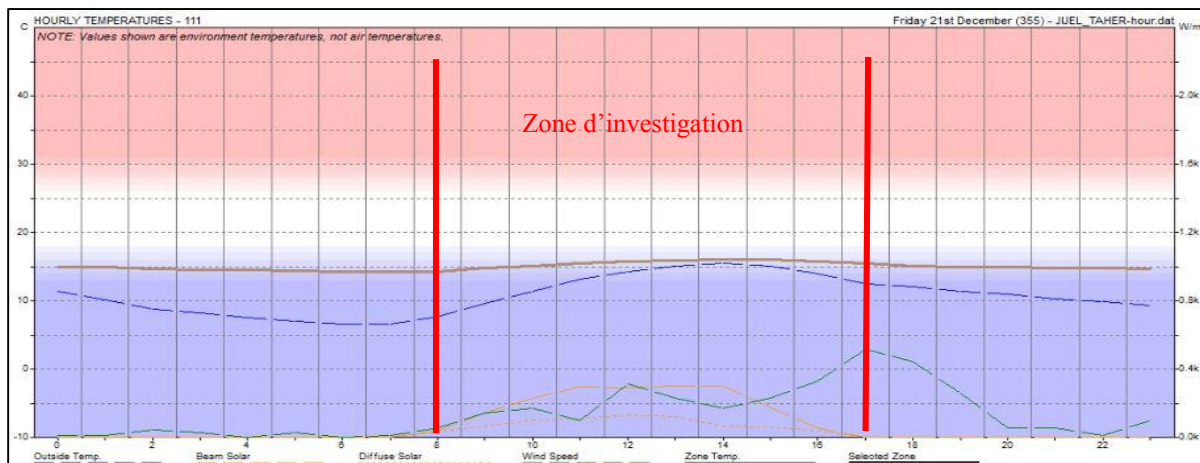
## Le 21 septembre :



**Figure 5.66 :** La courbe d'évolution temporelle de la température intérieure de la salle  
**Le 21 septembre. (Source : auteur).**

On remarque, une amélioration des températures avec une rectification de sensation, où les températures se dirigent beaucoup plus vers la zone du confort optimale.

**Le 21 décembre :**

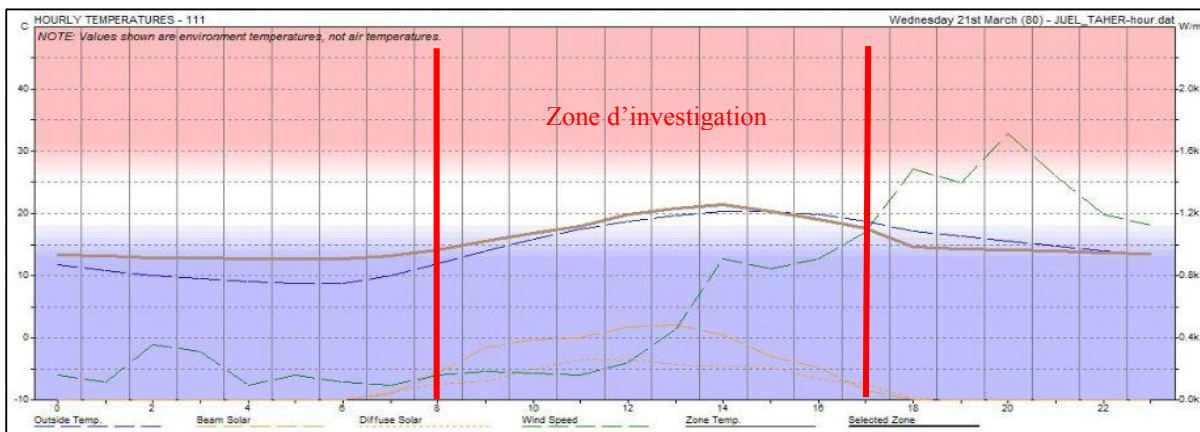


**Figure 5.67 :** La courbe d'évolution temporelle de la température intérieure de la salle  
**Le 21 septembre.** (Source : auteur).

On remarque, une amélioration des températures entre l'intérieur et l'extérieur durant la journée dans ce cas, ou la température intérieur dépasse totalement celle de l'extérieure durant toute la journée et ce place à la limite inferieur de la zone du confort.

**3.3. Model 03**

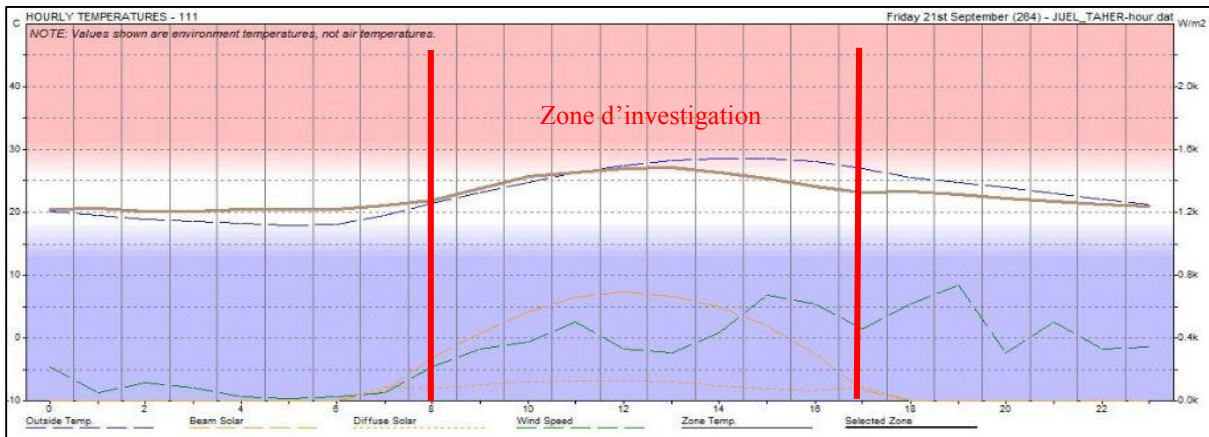
**Le 21 mars :**



**Figure 5.68 :** La courbe d'évolution temporelle de la température intérieure de la salle  
**Le 21 Mars.** (Source : auteur).

On remarque, une amélioration des températures entre l'intérieur et l'extérieur, ou la température intérieure dépasse celle de l'extérieure durant presque toute la journée, placé à la zone du confort Avec une baisse de température durant la matinée, et une température maximale de 22°C.

## Le 21 septembre :



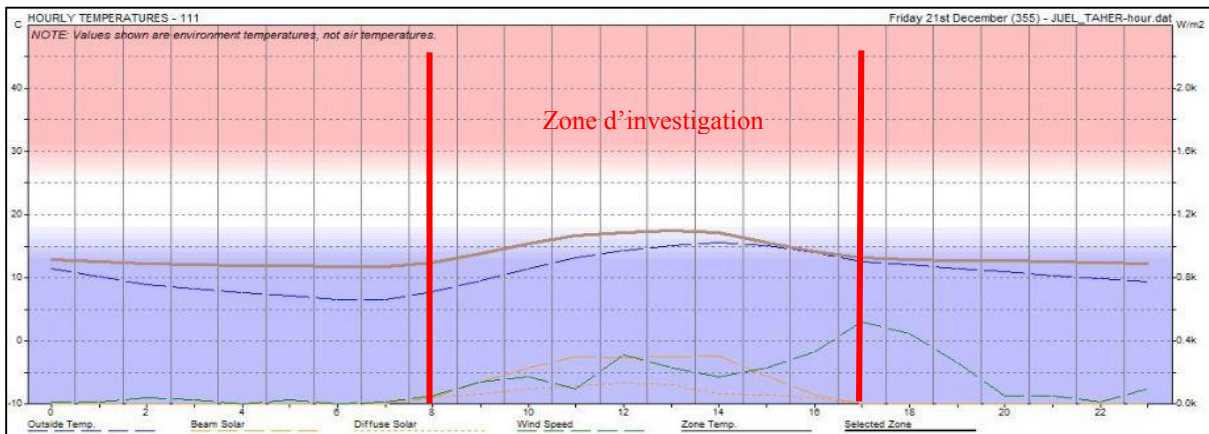
**Figure 5.69 :** La courbe d'évolution temporelle de la température intérieure de la salle  
Le 21 septembre. (Source : auteur).

On remarque, que les températures sont à la zone du confort durant toute la journée. En distingue :

[08:00 à 11:00] : la température intérieure dépasse celle de l'extérieur.

[11:00 à 17:00] : une rectification de température ou la température extérieure dépasse celle de l'intérieure.

## Le 21 décembre :



**Figure 5.70 :** La courbe d'évolution temporelle de la température intérieure de la salle  
Le 21 septembre. (Source : auteur).

On remarque, une amélioration des températures entre l'intérieur et l'extérieur durant toute la journée, Avec température maximale de 18°C, placé à la limite inférieure de la zone du confort.

## 4. Synthèse

Les résultats obtenus dans cette simulation, ont montré que le type de l'enveloppe influe directement sur la température ambiante à l'intérieur du bâtiment.

De plus, et ce qu'il faut bien retenir d'après cette comparaison, que l'enveloppe le mieux isolé importe le meilleur sommet de température, et de tous cela, s'explique l'impact de l'enveloppe sur la thermique des bâtiments.

## Conclusion

La simulation élaborée à l'aide de l'outil Ecotect<sup>2011</sup>, est une étape importante de notre étude. Elle permet de bien comprendre le comportement thermique des enveloppes à travers une étude comparative du comportement thermique des enveloppes.

Dans ce chapitre consacré aux mesures de températures à l'intérieur d'une salle de classe, nous avons noté les résultats de trois types différents d'enveloppes, cela résume que, Pour obtenir une enveloppe thermiquement performante, il faudrait incorporer dans cette enveloppe un dispositif d'isolation thermique performant, de façon à réduire sa conductivité thermique et par conséquent sa diffusivité thermique.

## Conclusion Générale

Dans notre pays, les exigences de confort dans les bâtiments ne cessent d'augmenter et en parallèle, les solutions techniques pour le chauffage et le rafraîchissement se multiplient en restant très souvent et malheureusement sur-consommatrices d'énergie. Les travaux réalisés dans ce mémoire s'inscrivent dans l'intérêt principal de présenter le rôle de l'enveloppe comme protecteur pour atteindre les conditions du confort thermique, et de présenter les solutions architecturales afin d'avoir une enveloppe extérieure performante en terme de l'isolation thermique.

Dès l'entame de la présente recherche, et dans le premier chapitre, nous avons présenté une étude sur le confort thermique, ce qui consiste à la compréhension de ce concept clé dans notre recherche et, Par l'analyse des différentes informations existantes.

Cependant, nous n'avons pas manqué d'étudier la notion des enveloppes, Cette étude a fait objet à notre second chapitre ou nous avons étudié essentiellement le rôle joué par l'enveloppe extérieure du bâtiment par ses différents composants et ses fonctions les plus variées.

Partant de cette observation et avant d'entamer une approche pratique, nous avons procédé à une étude bibliographique synthétique de l'ensemble des connaissances sur les solutions et le savoir-faire en matière du confort thermique dans le bâtiment. Cette étude nous a permis de comprendre la complexité de ce sujet à travers sa pluridisciplinarité.

Afin de mener à bien ce travail, nous avons inséré dans une approche pratique, par l'aide d'un outil de simulation Ecotect<sup>2011</sup>, une étude du confort thermique dans une salle de classe du lycée MAKHLOUF Hessnaoui à Jijel à travers ses enveloppes extérieures. Les résultats de cette étude montrent globalement que l'enveloppe le plus isolé importe la meilleure satisfaction du confort thermique à l'intérieur, et par conséquence confirme l'impact de l'enveloppe extérieure sur le confort thermique des bâtiments.

De cela, et à travers toute cette recherche, nous avons pu dégager quelques recommandations pour assurer le confort thermique dans les bâtiments à travers ses enveloppes, dont :

- Il est préférable **une orientation Nord/Sud** (c'est-à-dire qui offre une plus grande façade au sud), car cette orientation est la plus passivement profitable et donne le meilleur compromis entre apports de chaleur et apports lumineux en toute saison (apports solaires d'hiver facilement maîtrisables l'été).

- La nécessité d'adopter les techniques et les matériaux d'isolations thermique sur les enveloppes extérieurs des bâtiments (sur les parties opaques ou vitrées) afin pour conserver la chaleur et augmenter le degré du confort à l'intérieur.
- les dimensions des fenêtres et des espaces vitrées, leur position, leur surface, doivent être bien réfléchi lors de la conception, afin pour minimiser les déperditions thermique.
- L'utilisation des protections solaires pour les différentes orientations afin pour intercepter les rayons solaire pour éviter le surchauffe en été.

Cette étude se veut comme une contribution générale dans le domaine de l'architecture des bâtiments et en particulier dans l'aspect du confort thermique de constructions qui utilisent les potentialités actuelles en termes de moyens techniques et de matériaux élaborés. Les enjeux visés sont l'amélioration du confort dans les bâtiments à travers ses enveloppes extérieures et s'inscrivent dans un souci d'économie d'énergie traditionnelle et de promotion des énergies renouvelables. Toutefois, ce travail demeure une ébauche dans ces investigations et se limite à la question du confort thermique ; il nécessite par conséquent d'être complété par des travaux sur d'autres aspects tout aussi importants.



## LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

- **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.
- **Anatomie de l'enveloppe des bâtiments Imprimerie Hérissé à Evereux** N° d'impression : 78367, dépôt légale : octobre1997
- **Bondil. A, et, Hrbvsky,J.** (1978)« *Isolation thermique le règlement de construction et l'aération des bâtiments d'habitation* », tome 1, Eyrolles , parie.
- **Cahier du CSTB**, « le confort thermique : motivation et comportement des habitants ». Vol 266 cahier n°2054.1986.
- **Cordier, N** ; « développement et évaluation de stratégie de contrôle de ventilation appliquées aux locaux de grandes dimensions », thèse de doctorat, institut national des sciences appliquées de Lyon 2007.
- **Corinne, M**, « *Travail à la chaleur et confort thermique* » Les notes scientifiques et technique de l'INRS, NST184, décembre 1999.
- **Courgey, S et olivia, J.P**, « la conception bioclimatique, des maisons confortables et économe », Edition terre vivante, 2010.
- **COURGEY.S et OLIVA, j-p** ; 1979 ; « *la conception bioclimatique* ».
- **Dictionnaire** **EXPAIR** : [http://www.xpair.com/dictionnaire/definition/confort\\_thermique.htm](http://www.xpair.com/dictionnaire/definition/confort_thermique.htm).
- **Dossiers techniques de Agence locale de l'énergie de l'agglomération lyonnaise**, « *L'isolation Thermique Par L'extérieur* », 2009.
- **exNdo architectures** [<http://www.exndo.com/studio:expertises:2-enveloppe-haute-performance>] (consulté le 28/02/2016).
- **Fernandez. P, et Lavigne. P.** « *concevoir des bâtiments bioclimatique, fondement et méthodes* ». *Le moniteur*, 2009.
- **FOUARA SMIR**, thèse doctorat en science, option : architecture bioclimatique « simulation des paramètres du confort thermique d'hiver en Algérie », université Menourie - Constantine.
- **Givoni .B**, « l'homme, l'architecture et le climat », Edition moniteur, paris 1978.
- **Gottfried Semper**, 1803-1879, architecte et théoricien allemand. Il publie « *Der Stil* » en 1860.

- **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.
- **Hamel khalissa**, « *Confort Thermique* », Département d'architecture de l'université de Biskra, Master 1 Architecture et Environnement, Cours N° 1.
- **HAMEL.K** ; cours de confort thermique ; université de BISKRA ; département d'architecture
- **Herant. P.**, (2004) congrès sous le titre « *Bâtiment 2010 consacrée à l'enveloppe du bâtiment* », France, [en ligne]
- **HERZOG, T. KRIPPNER, R., LANG, W.**, « *Construire des façades* », Presses polytechniques universitaires Romandes, Lausanne, 2007.
- **Herzog. T, et all**, « *Construire des façades* ».
- **Hirt.M, et, Crisinel.M, (2005)**, « *Conception des charpentes métalliques* », PPUR, Italie.
- **Hugues, Boivin**, « la ventilation naturelle développement d'un outil d'évaluation du potentiel de la climatisation passive et d'aide à la conception architecturale », 2007.
- **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.
- **Jean-Yves Charbonneau**, Direction de la prévention-inspection, « *Confort thermique à l'intérieur d'un établissement* », Québec, mars 2004.
- **KABOUCHE AZOUZ** mémoire magister « ARCHITECTURE ET EFFICACITE ENERGETIQUE DES PANNEAUX SOLAIRES. », université mentouri – constantine.2012
- **L'intégration architecturale du solaire** – une architecture exclusive qui produit de l'énergie, article N° : 805.526.F PDF, [https://www.minergie.ch/media/integralesolar\\_architektur\\_fr.pdf](https://www.minergie.ch/media/integralesolar_architektur_fr.pdf), consulté le 17-09-2017 à 16h07
- **LAROUSSE** <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/confort/18147>.
- **Mario. V.**, (2013), « *Les 6 fonctions de l'enveloppe* », Pétrone architecture, rapport [en ligne], <http://www.petronearchitecture.com/>, consulté le 18 juin 2017.
- **MAZARI .M.** mémoire de magister en architecture, option : étude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public : cas du département d'architecture de Tamda (TIZI-OUZOU), université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 2012.

- **Mémoire de master en architecture option architecture et technologie** « l'enveloppe du bâtiment et les systèmes usuels et innovants de l'isolation thermique » année : 2016 université de Jijel département d'architecture.
- **Mémoire de master en architecture option architecture et technologie** « L'enveloppe architecturale entre élément de conception et élément d'intégration environnementale » année : 2016 université de Jijel département d'architecture.
- **Mémoire master académique en architecture**, option : architecture et technologie « confort thermique intérieur des constructions par les procédés passifs » année 2015, université de Jijel.
- **Mémoire master académique**, option : architecture et technologie « étude du confort thermique dans les équipements administratifs de la période coloniale, cas de la mairie de la direction de programmation et suivie budgétaire -Jijel, université de Jijel.
- **Mémoire master en architecture**, option : architecture et technologie « étude du confort thermique dans les équipements administratifs de la période coloniale. » université de Jijel 2015.
- **Ministère de l'équipement**, des transports du logement, du tourisme et de la mer, « *Les façades* ».
- **Ministère de l'équipement**, Des transports du logement, du tourisme et de la mer, (2013), « *Mémento technique de bâtiment : les façades* », rapport, P.8-9, [en ligne] <http://www.cnrs.fr/aquitaine/IMG/pdf/Facades.pdf> consulter le 16 septembre 2017
- **Ministère de l'habitat**, « *travaux d'étanchéité des toitures terrasses et toitures inclinées support maçonnerie* », Directeur Général Bourouba.M, document réglementaire technique.
- **MOHAMMED GACEM**, mémoire magister option : physique électronique et modélisation « comparaison entre l'isolation thermique extérieur et intérieur d'une pièce d'un habitat situé dans le site de Ghardaïa », année : 2010-2011, université ABOU-BEKR Belkaid-telemcen.
- **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.
- **NICHOL. F, HEMPHREYS. M**, « *derivation of the adaptative equation of thermal comfort in free-running buildings in European Standard cite* » cite in Grignon-masse, L2010.

- **Olsen B W**, « *thermal confort requirement fir floors et confort thermique* », cite in : Mansouri Y. (2003).
- **Richieri, Fabrice**. « Développement et paramétrage de contrôleurs d'ambiance multicritères », thèse soutenue à l'institut national des sciences appliquées de Lyon, 2008.
- **Salamont et Bedel,S**, « la maison des (méga) watts, le guide malin de l'énergie chez soi ». Ed. Terre vivante. Mens 2004.
- **T.Herzog et R.Krippner**, « Construire des façades », 2007.
- **Texier, N.** « de la notion de confort à la notion d'ambiance » revue du laboratoire cresson de l'école d'architecture de Grenoble et CNRS ambiances architecturales et urbaines, France.2007
- **Valentin-Florian GAVAN**, « Gestion intelligente et performance énergétique des façades actives de type "double-peau" », 07/10/2009, Thèse ADEME.
- **Vereinigung Kantonaler**, « *Bâtiments à façades double-peau* », Note Explicative De protection incendie, 01 janvier.2015 /102-15/ Fr.
- **Vogt J.J.** « confort physiologique. Technique de l'ingénieur ». B2180.1995.

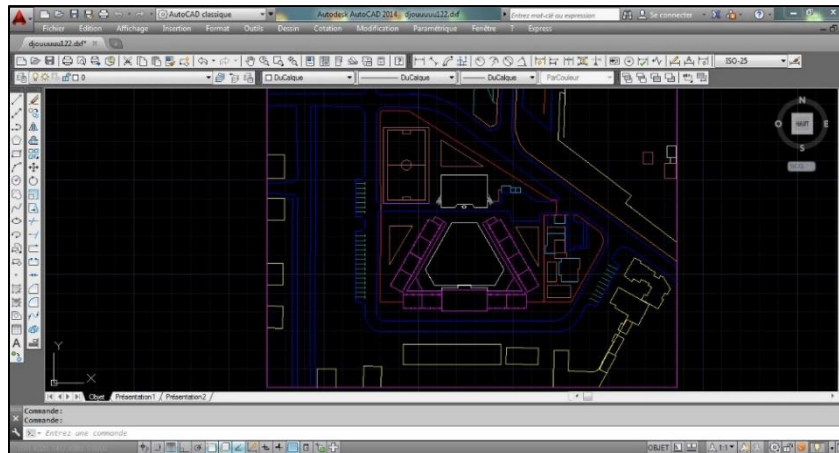
#### SITE INTERNET

- [http : //www.petronearchitecture.com/](http://www.petronearchitecture.com/), consulté le 18 juin 2017.
- <http://lespacedelentredeux.blogspot.com/> (consulté le 12/6/2017).
- <http://thesis.univ-biskra.dz/2367/3/Chapitre%201.pdf> consulter le : 17-09-2017 à 14h36.
- <http://www.cnrs.fr/aquitaine/IMG/pdf/Facades.pdf> consulté le 16 septembre 2017
- <http://www.exndo.com/studio:expertises:2-enveloppe-haute-performance> (consulté le 28/02/2016).
- <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/confort/18147>
- [http://www.xpair.com/dictionnaire/definition/confort\\_thermique.htm](http://www.xpair.com/dictionnaire/definition/confort_thermique.htm).
- [https://www.ecosources.info/dossiers/Panneau\\_solaire\\_hybride\\_mixte](https://www.ecosources.info/dossiers/Panneau_solaire_hybride_mixte) consulter le : 12 septembre 2017
- <https://www.energuide.be/fr/questions-reponses/quest-ce-quun-pare-vapeur/687/> consulter le 17/09/2017
- [https://www.minergie.ch/media/integralesolar\\_architektur\\_fr.pdf](https://www.minergie.ch/media/integralesolar_architektur_fr.pdf) consulter le 17-09-2017 à16h04
- [alltrends.over-blog.net](http://alltrends.over-blog.net)

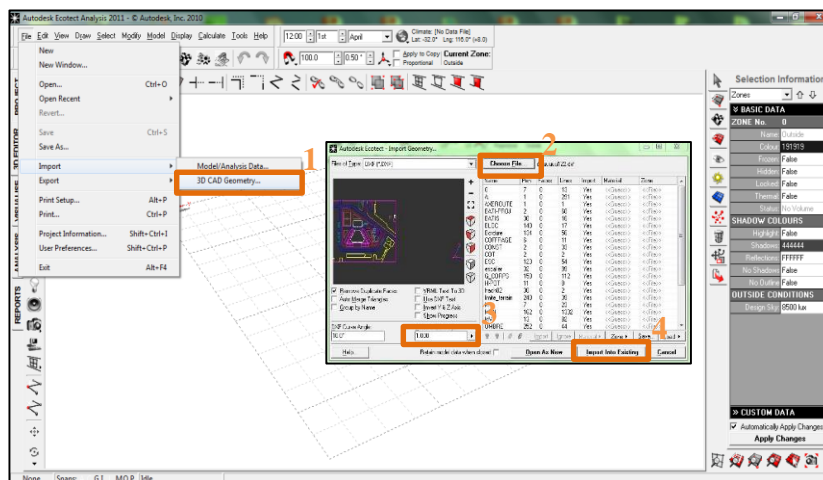
- [artibois.assor.fr](http://artibois.assor.fr)
- [www.durable198.rssing.com](http://www.durable198.rssing.com)
- [www.art-dam-idf.fr](http://www.art-dam-idf.fr)
- [www.cnrs.fr](http://www.cnrs.fr)
- [www.construire-tendance.com](http://www.construire-tendance.com)
- [www.ddmagazine.com](http://www.ddmagazine.com)
- [www.decroissons.wordpress.com](http://www.decroissons.wordpress.com)
- [www.energissime.fr](http://www.energissime.fr)
- [www.fossilraptor.be](http://www.fossilraptor.be)
- [www.guichetdusavoir.org](http://www.guichetdusavoir.org)
- [www.iso-solar.com](http://www.iso-solar.com)
- [www.isover.fr](http://www.isover.fr)
- [www.khanacademy.org](http://www.khanacademy.org)
- [www.norme-bbc.fr](http://www.norme-bbc.fr)
- [www.praever.ch/fr](http://www.praever.ch/fr)
- [www.toutplaco.com](http://www.toutplaco.com)

## Annexe : Les démarches de travail par ECOTECT

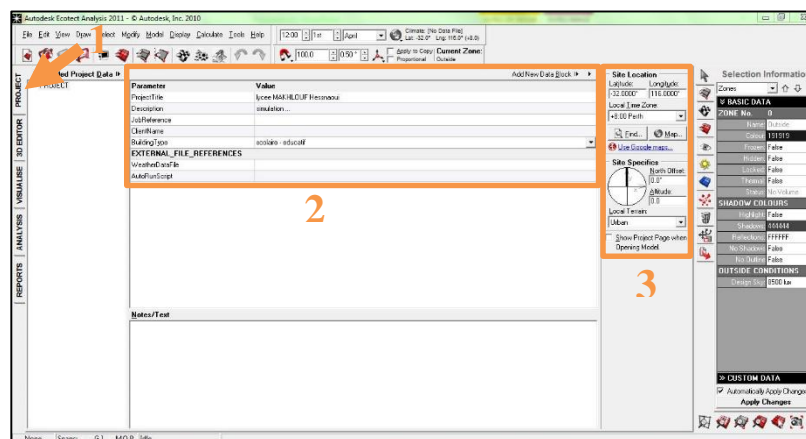
### 1- La préparation du fichier AUTOUCAD (DXF) :



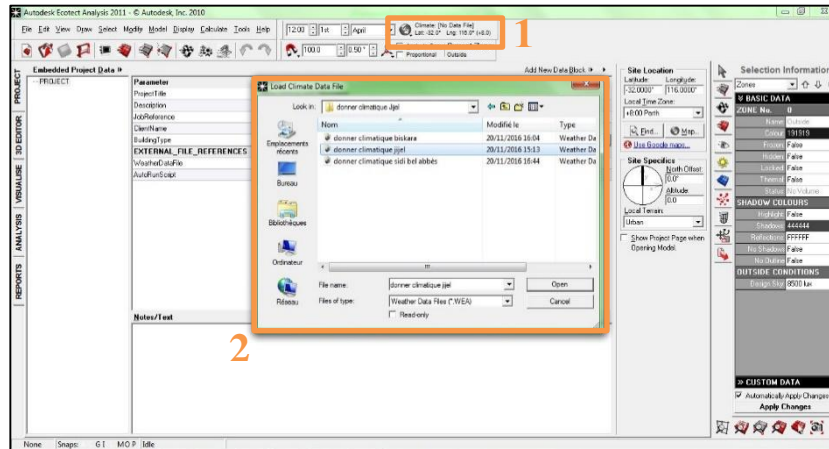
### 2- Importation de fichier :



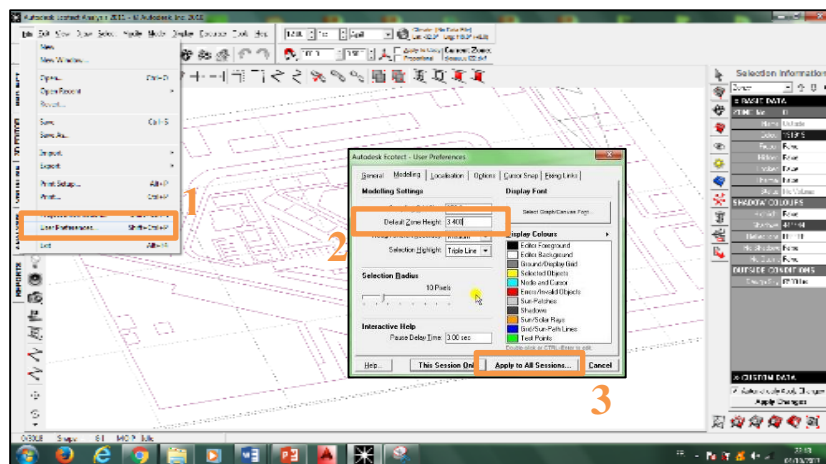
### 3- Donner un nom au dessin, Fixer le type du bâtiment étudié, le Nord et l'environnement du bâtiment (urbain, rural, etc.).



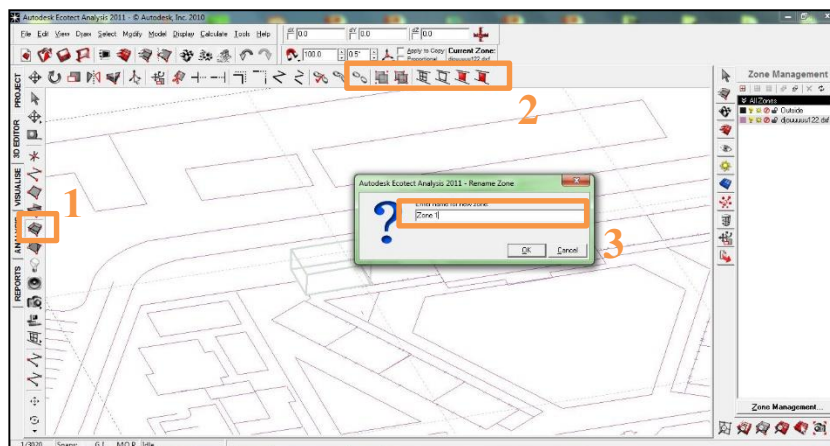
## 4- importer le fichier climatique :



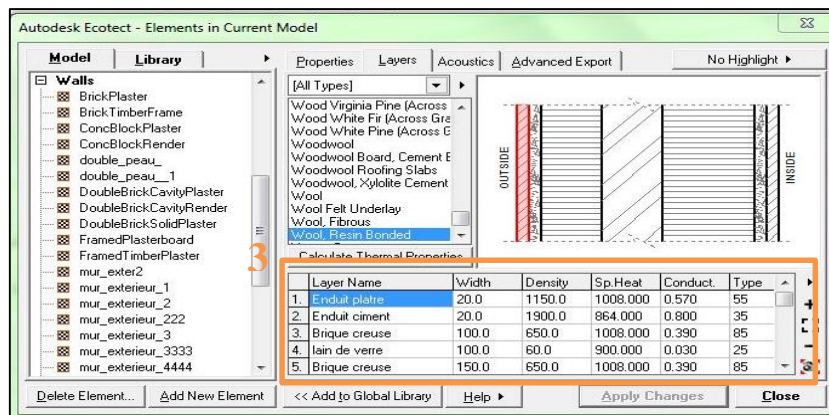
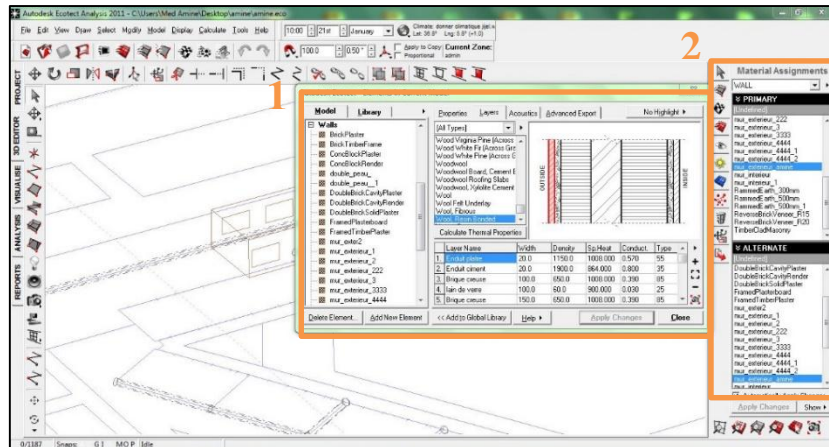
## 5- déterminer la hauteur des zones :



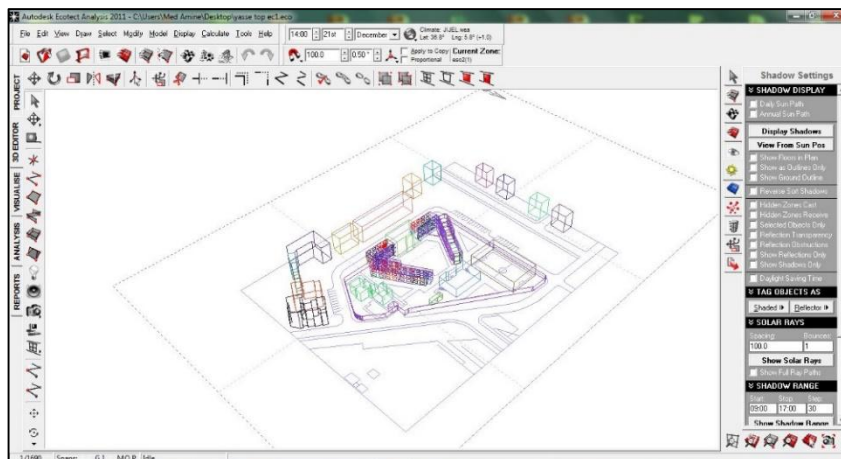
## 6- la modélisation en 3D (les zones, les portes, les fenêtres) :



## 7- Indiquer les propriétés physiques des matériaux de construction pour chaque élément:

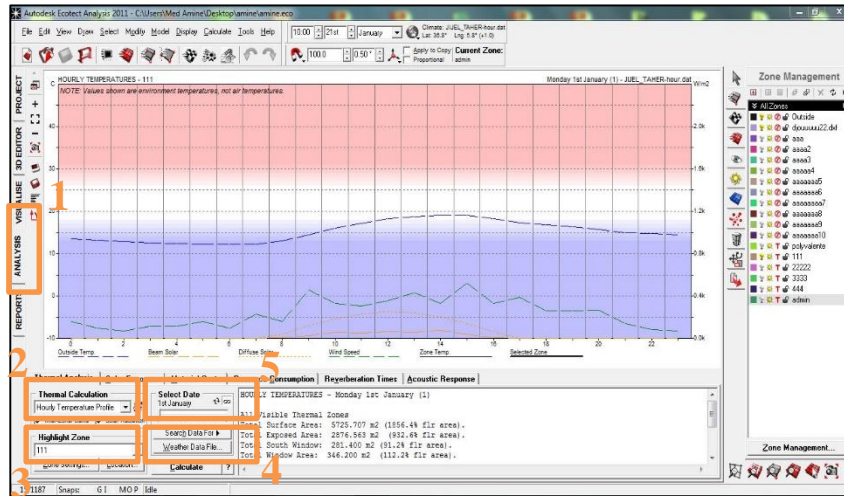


## 8- la modélisation en 3D:

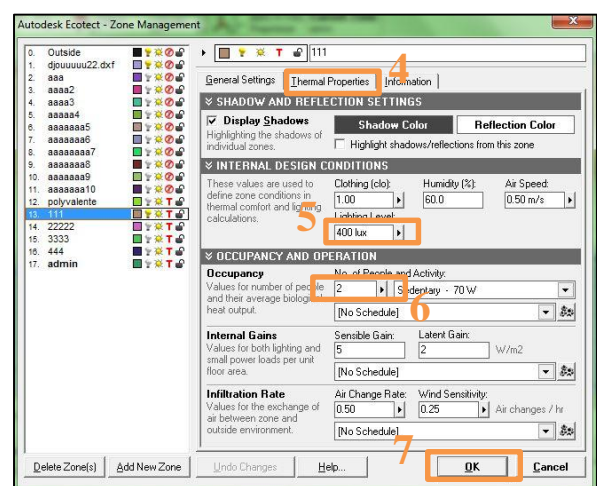
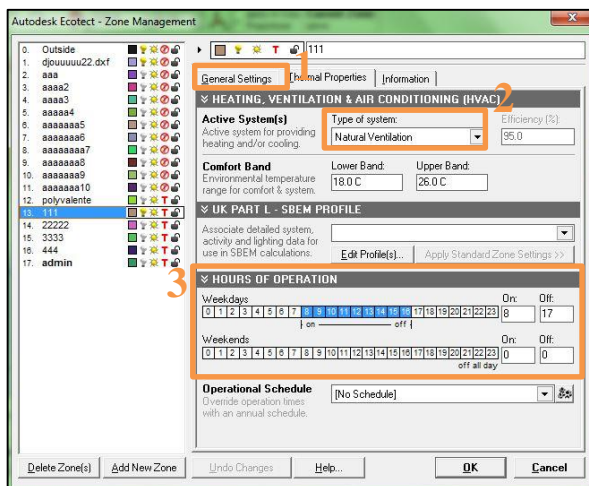




## 9-Le calcul de la température ambiante :



## 10-Paramètre des zones :



## Résumé

L'Algérie a connu ces dernières années, suite à une croissance démographique accrue, la réalisation d'un nombre important de bâtiments ; malheureusement la plupart de ces bâtiments ne semblent pas répondre aux exigences du confort thermique et d'économie d'énergie. Ceci s'explique par un non-respect de la réglementation en vigueur, par le manque de savoir-faire et connaissances dans le domaine.

Le confort thermique constitue une demande reconnue et justifié dans les bâtiments, du fait de son impact sur la qualité des ambiances thermiques intérieures, il est donc considéré comme un élément important de la qualité globale d'usage.

Le travail de recherche que nous nous sommes élaboré, vise à déterminer l'effet des différents matériaux constituant l'enveloppe extérieure du bâtiment sur le bien être thermique des occupants à l'aide du logiciel de simulation Ecotect Analysis<sup>2011</sup>, et de présenter les divers techniques et matériaux architecturale adéquates, permettant à aider les architectes dans la conception des enveloppes extérieures thermiquement efficaces.

**Mots Clés :** confort thermique, économie d'énergie, ambiance thermique, simulation, l'enveloppe extérieure du bâtiment

## **Abstract**

In recent years, Algeria has experienced a significant increase in the number of buildings; unfortunately most of these buildings do not seem to meet the requirements of thermal comfort and energy saving. This is due to a lack of respect for existing regulations, lack of know-how and knowledge in the field.

Thermal comfort constitutes an acknowledged and justified demand in buildings because of its impact on the quality of indoor thermal environments and is therefore considered an important element of the overall quality of use.

The research work we have developed aims to determine the effect of the various materials making up the building's external envelope on the thermal well-being of the occupants using the "Ecotect Analysis2011" simulation software and to present the various techniques and adequate architectural materials, enabling architects to assist in designing thermally efficient exterior envelopes.

**Keywords:** thermal comfort, energy saving, thermal, simulation, building exterior envelope

## ملخص

في السنوات الأخيرة، شهدت الجزائر زيادة كبيرة في عدد المباني؛ وللأسف معظم هذه المباني لا تبدي تلبية لمتطلبات الراحة الحرارية وتوفير الطاقة. ويرجع ذلك إلى عدم احترام اللوائح القائمة، والافتقار إلى الدراية الفنية والمعرفة في الميدان.

تشكل الراحة الحرارية طلبا معترفا به ومبررا في المباني بسبب تأثيره على نوعية البيئات الحرارية الداخلية، وبالتالي تعتبر عنصرا هاما في الجودة الشاملة للاستخدام.

يهدف البحث الذي قمنا بتطويره إلى تحديد تأثير المواد المختلفة التي تشكل الغلاف الخارجي للمبنى على الرفاه الحراري للشاغلين باستخدام برنامج المحاكاة <sup>2011</sup> Ecotect Analysis، ولتقديم التقنيات المختلفة والمواد المعمارية الكافية، مما يمكن لمساعدة المهندسين المعماريين في تصميم الأغلفة الخارجية ذات كفاءة حرارية.

كلمات البحث: لراحة الحرارية، توفير الطاقة، البيئات الحرارية، المحاكاة، الغلاف الخارجي للمبنى.