

*République Algérienne Démocratique et Populaire
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

Djahida BOUDEHANE

Manel CHETTIBI

Nor-elhouda ZIADA

THEME

**ETUDE DES PARAMETRES DE CONSTRUCTION POUR LE
CONFORT HYGROTHERMIQUE DANS LES BATIMENTS A ZERO
CONSOMMATION D'ENERGIE (BZE). CAS DES
ETABLISSEMENTS D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR DANS UN
CLIMAT HUMIDE.**

Date de la Soutenance : 10-07-2019

Composition du Jury :

B. BOUKNI

MCB, université Mohamed Seddik BENYAHIA - Jijel, Présidente du jury

N. SMAKDJI

MCB, université Mohamed Seddik BENYAHIA - Jijel, Directeur du mémoire

N. BOUHIDEL

MAA, université Mohamed Seddik BENYAHIA - Jijel, Co-directeur du mémoire

S. BOUKETTA

MAA, université Mohamed Seddik BENYAHIA - Jijel, Membre du Jury

REMERCIEMENTS

On remercie le bon dieu qui nous a donné le pouvoir, la volonté et le courage pour achever ce travail.

On remercie infiniment nos chers parents pour leurs aides et leur soutien moral et matériel.

*On tient également à remercier et exprimer toute notre reconnaissance et notre respect à notre encadreur madame **Nafila SMAKDJI** pour l'aide et l'orientation qu'il n'a cessé de nous prodiguer aux cours de l'élaboration de cette étude. Et aussi d'avoir accepté de nous encadrer pour notre travail de fin d'études, ainsi Nous tenons à exprimer notre profond respect a madame*

Nour-elhouda BOUHIDEL.

*Nous remercions s'adressent à tous les personnes qui nous ont rendu les choses faciles alors qu'elles étaient difficiles, dont on site ; monsieur **Wahid HALLOUFI** pour ses précieux conseils et son aide.*

Nos remercions vont aussi à tous nos professeurs, enseignants et toutes les personnes qui nous ont soutenus jusqu'au bout, et qui n'ont pas cessé de nous donner des conseils très importants en signe de reconnaissance. Et qui nous ont fait comprendre et sentir ce que c'est l'Architecture.

Nous présentons également nos remercions aux membres du jury qui ont acceptés de participer à l'évaluation de notre travail.

A toute l'équipe pédagogique qui a participé à notre formation depuis l'école primaire à ce jour, également pour tous ce qui nous ont aidés de près ou de loin lors de l'élaboration de ce travail.

A tous nos enseignants de département d'architecture de Jijel qu'ont initié aux valeurs authentiques, en

Signe d'un profond respect et d'un profond amour !!!

Merci à vous tous

Dédicace Djahida

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvre et une immense joie, que je dédie mon travail avec

Tous mes respects...

A mes parents :

A ma très chère mère affable, honorable, aimable qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude. Au meilleur des pères, aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous

A mes chères sœurs, qui sont toujours le refuge de mes secrets et mes soucis.

*A mes frères, et spécialement à « **Touhami** » la personne qui m'ont encouragé et aidé tout long de mes études. Je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de bonheur et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde à nous.*

*A mon trinôme « **Manel et Nor el houda** » ces deux agréables personnes que j'ai partagées avec eux durant l'élaboration de cette mémoire des moments de stress comme des moments de folie mon trinôme que dieu vous éclairiez le chemin et vous guidez vers la réussite.*

*A mes chères amies « **Mani** », « **Samaha** » et « **Fatima** » Les mots ne suffisent rarement pour exprimer nos souvenir de notre sincère et profonde amitié et les moments agréables que nous avons passés ensemble. Je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de bonheur.*

A tous mes collègues d'architecture promotion 2019 à l'université de Jijel :

Hala, Sara Abla, Asma, Loubna

A toutes personnes qui m'ont encouragé ou aidé tout long de mes études.

A mes enseignants d'architecture dans mon cursus universitaire.

Djahida

Dédicace Manel

Je dédie ce modeste travail :

A ma mère

Qui a donné sens à ma vie, symbole de tendresse, qui m'a toujours aidé durant tout mon parcours et qui n'a cessé de m'encourager et me soutenir tout au long de mes études.

A mon père

Qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Que dieu les gardes et les protèges

A mes chers frères Bilel et Islem

A ma chère sœur Sabrina qui m'a aidé, soutenu tout au long de mon parcours et elle a été à côté de moi dans mes moments difficiles.

A mes très chers binôme Nor-elhouda et Jahida qui m'a aidé, soutenu tout au long de mon parcours et qui a été à côté de moi dans mes moments difficiles. Ainsi qu'a toute sa famille.

Mes très chers et proches amis : Asma, Sara, Abla, Sara, Hala, Loubna.

Manel

Dédicace Nor-elhouda

DIEU TOUT PUISSANT MERCI D'ETRE TOUJOURS AU PRES DE MOI

Je dédie ce projet aux êtres les plus chers à mon cœur :

Tout d'abord mes chers parents,

La meilleure de toutes les mères « ma belle maman AICHA »

Qui m'a soutenu durant toutes ma vie, qui m'a aidé durant mes années d'études, qui m'a appris à aimer le travail et le bon comportement, pour son amour infini et sa bienveillance.

Je souhaite prouver mon grand remerciement qui ne sera jamais suffisant à elle que j'espère la rendre fière par ce travail.

Mon très cher père « MAKKI »

Pour être le bon exemple de père par son soutien, ses encouragements et aides de mes premiers pas d'étude jusqu'à ce jour.

A mes chers frères et sœurs,

Je vous dédie ce travail en témoignage des liens solides et intimes qui nous unissent et pour leurs soutiens, encouragement en vous souhaitant un avenir plein de succès et de bonheur.

****Mes chers frères : « YAZID, ABD ALAZIZ et SID ALI »***

****Mes fleures sœurs : « NISSMA, MESSOUDA, FATIMA, FATIHA, FADHILA, et SAMIRA »***

A l'âme de mes grands-parents,

Qui nous a quittés depuis longtemps pour rejoindre l'Eternel, surtout ma grand-mère est affectueuse

« MESSOUDA -BAZZA- ». Et A l'âme de mon oncle « AMAR »

Tous ceux qui me sont chères,

Et a tous qui ont laissé une empreinte de joie dans ma voie

Toutes mes amies et mes collègues,

Ils vont trouver ici le témoignage d'une fidélité et d'une amitié infinie

****Mes fleures amies : « Manel, ABLA, HALA, SARA, ASMA, LOBNA »***

En fin, à mes deux partenaires qui ont partagés avec moi les souffrances de ce travail Manel CHETTIBI et Djahida BOUDEHANE, malgré tout nous nous sommes supportés et nous avons pu passer des années agréables pleines de plaisir et d'aventures inoubliables.

Nor-elhoud

TABLE DES MATIÈRES

Dédicaces et Remerciements.....	I
Table des matières.....	V
Liste des figures.....	XI
Liste des tableaux.....	XIV
Liste des abréviations.....	XVII
INTRODUCTION GENERALE.....	1
Problématique.....	2
Questionnement.....	2
Hypothèses de la recherche.....	3
Objectif général de la recherche.....	3
Démarche méthodologique.....	4
Structure du Mémoire.....	5
<u>Chapitre 1</u> : Les paramètres de construction pour le confort	
hygrothermique dans les établissements d'enseignement supérieur.....	6
1.1 Introduction.....	6
1.2 L'enseignement supérieur en Algérie.....	6
1.3 Les conditions intérieures de confort hygrothermique dans un établissement d'enseignement.....	6
1.4. Le Confort hygrothermique.....	7
1.4.1.Généralités sur la notion du confort hygrothermique.....	7
1.4.1.1. Confort.....	7
1.4.1.2. Le confort thermique.....	7
1.4.1.3. Le confort hygrothermique.....	7
1.4.2. Classement hygrothermique d'un bâtiment.....	8
1.5. Définition de l'hygrométrie.....	8
1.6. Les causes d'un taux d'humidité élevé.....	8
1.7. L'origine de l'humidité.....	9
1.7.1. La condensation.....	9

1.7.2. Fuites et infiltrations.....	10
1.7.3. Remontées capillaires (ou humidité ascensionnelle)	10
1.7.4. Une ventilation insuffisante.....	11
1.7.5. Les infiltrations d'eau (humidité traversant)	11
1.7.6. La pression hydrostatique.....	11
1.7.7. Les activités des occupants.....	11
1.8. Les paramètres affectant le confort hygrothermique.....	11
1.8.1. Paramètres liés à l'ambiance extérieure (à l'environnement)	11
1.8.1.1. La température de l'air (Ta)	11
1.8.1.2. La température des parois (TP)	11
1.8.1.3. L'humidité relative de l'air (HR)	11
1.8.1.4. La vitesse de l'air	11
1.8.2. Paramètres liés à l'individu.....	12
1.8.2.1. Métabolisme.....	12
1.8.2.2. Vêtue.....	13
1.8.3. Paramètres constructifs.....	13
1.8.3.1. L'inertie thermique.....	13
1.8.3.2. L'isolation.....	13
1.8.3.3. Le déphasage :	13
1.8.3.4. L'effusivité :	13
1.8.3.5. La perméabilité à la vapeur d'eau	13
1.9. Procédés passifs pour assurer le confort hygrothermique de l'occupant.....	14
1.9.1. L'implantation	14
1.9.2. La ventilation naturelle	14
1.9.3 La forme.....	14
1.10. Evaluation du confort hygrothermique	14
1.10.1. Indices pour l'évaluation de confort hygrothermique	14
1.10.1.1. Les indices thermiques.....	15
1.10.1.2. Les indices environnementaux simples.....	15
1.10.1.2.a. La température de l'air ambiant (Ta)	15
1.10.1.2.b. La température opérative (Top)	15
1.10.1.3. Les indice PMV et PPD.....	15

1.10.1.3.a. Le PMV (vote moyen prédit)	16
1.10.1.3.b. Le PPD (Pourcentage Prévisible D'insatisfaits)	16
1.10.2. Les outils graphiques d'évaluation du confort hygrothermique	16
1.10.3. L'évaluation de confort hygrothermique par le Thermo-Hygromètre.....	17
1.11. La réglementation thermique algérienne.....	18
1.11.1. Vérification d'hiver (DTR C3-2)	18
1.11.2. Vérification d'été (DTR C3-4)	18
Conclusion.....	18
<u>Chapitre 2 : La consommation énergétique dans les bâtiments</u>	19
2.1 Introduction.....	19
2.2. Généralités sur l'énergie	19
2.3. Classement des énergies.....	20
2.3.1. Les énergiers renouvelables.....	20
2.3.2. Les énergiers non renouvelables.....	20
2.4. Types d'énergie	20
2.4.1. Les énergies primaires	21
2.4.2. Les énergies secondaire	21
2.5. L'énergie et le développement durable.....	21
2.6. Maitrise de l'énergies et le contexte réglementaire en Algerie	21
2.7. Efficacité energitique dans la batimantiment.....	22
2.7.1. Classification energitique des batimants.....	22
2.7.2.Labellisation énergétique	22
2.7.2.1. Définition.....	23
2.7.2.2. Labels énergétiques Français.....	23
2.7.2.2.a. Les labels haute performance énergétique.....	23
2.7.2.2.b. Label BBC (bâtiment a basse consommation)	23
2.7.2.2.c. Effinergie, Passivhaus et Minergie.....	24
2.7.2.2.d. Bâtiments à énergie Zéro.....	26
2.7.2.2.e. Bâtiments à énergie positive.....	26
2.8. Le certificat de performance énergétique (certificat PEB)	27
2.9. La consommation énergétique.....	27
2.9.1 Définition de la consommation énergétique.....	27

2.9.2. Norme de la consommation énergétique.....	27
2.10. La consommation d'énergie dans le secteur des bâtiments.....	27
2.10.1. Contexte énergétique mondial.....	27
2.10.2. Contexte énergétique national.....	28
2.11. Le bâtiment est un gros consommateur d'énergie.....	28
2.12. La consommation d'énergie dans les bâtiments a zéro énergie (ZEB).....	29
2.13. Le bilan thermique.....	29
2.13.1. Les échanges thermiques du corps humain.....	30
2.13.2. Le bilan thermique d'hiver.....	30
2.13.2.1. Objectif de faire le bilan thermique d'hiver d'un bâtiment.....	30
2.13.2.2. Déperdition thermique.....	30
2.13.2.2.a. Déperdition calorifiques par transmission.....	30
2.13.2.2.b. Déperditions calorifique par ventilation.....	31
2.13.2.2.c. Les apports de chaleur internes.....	31
2.13.3. Le bilan thermique d'été.....	31
2.13.3.1. Objectif de faire le bilan thermique d'été d'un bâtiment.....	31
2.13.3.2. Apports de chaleur par les parois.....	31
2.13.3.2.a. Apports de chaleur par les parois opaques.....	31
2.13.3.2.b. Apports de chaleur par les parois vitrées.....	32
2.13.3.3. Apport global de chaleur par transmission.....	32
2.13.3.3.a. Apports de chaleur par ventilation.....	32
2.13.3.3. b. Apports de chaleur internes.....	32
2.13.3.3.c. Besoin global de froid.....	32
2-114. Un pont thermique.....	33
Conclusion.....	33
<u>Chapitre 3 : Le label « bâtiment zéro énergie (BZE) »</u>	34
3.1 Introduction.....	34
3.2. Généralités sur le bâtiments zéro énergie (BZE).....	34
3.2.1. Définition de bâtiments à zéro énergie (BZE).....	34
3.2.1.1. Frontière de système (bâtiment).....	35
3.2.1.2. Indicateurs et pondération.....	35
3.2.1.3. Types d'équilibre.....	35

3.2.2. La norme Zéro énergie (ZEB)	36
3.2.3. Conception du bâtiment à zéro consommation d'énergie.....	37
3.3. Les outils et les techniques de BZE.....	38
3.3.1. Enveloppe.....	38
3.3.2. Ventilation	40
3.3.3. Chaudière à condensation.....	40
3.3.4. Pompe à chaleur	40
3.3.5. Systèmes solaires.....	41
3.4. Analyse d'un exemple : Le projet de rénovation Solar-2002.....	41
3.4.1. Présentation	41
3.4.2. Le concept de la maison.....	42
3.4.3. Caractéristiques de la construction	43
3.4.4. Les techniques de la maison SOLAR 2002	43
3.4.5. La consommation énergétique de la maison Solar 2002.....	44
Conclusion.....	45

Chapitre 4 : Présentation de cas d'étude

4.1 . Introduction.....	46
4.2. Objectif de l'étude.....	46
4.3. Motivation de choix du cas d'étude	46
4.4. Le site	47
4.5. Présentation du cas d'étude	47
4.6. Présentation de l'espace simulé	48
4.7. Le climat	49
4.7.1. La pluviométrie	49
4.7.2. La température.....	49
4.7.3. Les vents dominants	49
4.7.4. L'humidité	49
4.8. Présentation des phases de l'étude	50
4.8.1.Simulation	50
4.8.1.1. L'objectif de simulation	50
4.8.1.2. Les étapes de simulation	50

4.8.2. déroulement des calculs	51
Conclusion.....	54
<u>Chapitre 5 : Résultats et Interprétation</u>	55
5-1-Introduction.....	55
5-2-Les paramètres de simulation.....	55
5-2-1-Les paramètres fixes.....	55
5-2-2-Les paramètres variables	56
5-3-Présentation des scénarios.....	56
5-3-1-Le premier scénario.....	56
5-3-2-Le deuxième scénario.....	57
5.3.2.1. Motivation choix de l'isolant	58
5.3.2.1. Les choix des matériaux de construction	58
5-4-Recherche de l'effet de l'isolation et vérification de la condensation	62
5-4-1-Calcul des résistances thermiques est effectué suivant la relation	63
5-4-2- Calcule de K' sans isolation.....	64
5-4-3-Calcul des températures aux interfaces.....	65
5-4-4-Vérification de la condensation superficielle.....	68
5-4-5-Vérification de la condensation dans la masse.....	68
5-4-6-1-Méthode de Glaser	68
5-2-6-2-Etapes de calcul	69
Conclusion.....	78
CONCLUSION GENERALE	79
Références bibliographiques.....	82
Annexes	
ملخص.....	I
Résumé	II
Abstract	III

Tables des figures

Partie théorique		
Chapitre 1: Les paramètres de construction pour le Confort hygrothermique dans les équipements d'enseignement supérieur.		
Numéro de figure	Titre de figure	Page
Figure 1-1	L'Origine de l'humidité.	9
Figure 1-2	Le phénomène de la condensation.	10
Figure 1-3	Les gouttelettes d'eau.	10
Figure 1-4	La remonté capillaire.	10
Figure 1-5	la remonté capillaire dans un mur.	10
Figure 1-6	Les échanges thermiques entre l'ambiance et l'homme.	12
Figure 1-7	Diagramme bioclimatique d'Olgay.	17
Chapitre 2:La Consommation énergétique dans les bâtiments.		
Figure 2-1	Les énergies renouvelables.	20
Figure 2-2	Etiquette de performance énergétique.	22
Figure 2-3	Principaux besoins d'une maison à basse énergie.	24
Figure 2-4	Schéma d'une maison passive.	25
Figure 2-5	Principaux besoins d'une maison à énergie positive.	26
Figure2-6	Répartition de la consommation mondiale d'énergie finale par secteurs en 2008.	28
Figure 2-7	Une réflexion sur le « zéro-énergie » pour deux bâtiments.	29
Figure 2-8	L'interaction thermique entre le corps humain et son environnement.	30
Figure 2-9	Pertes d'énergie dans un bâtiment non isolé.	31
Figure 2-10	Un type de pont thermique.	32
Chapitre 3 : Le label de bâtiment à zéro énergie (BZE).		
Figure 3-1	Schéma et terminologie relatifs au bâtiment ZEB et leurs liens avec les réseaux énergétiques.	34
Figure 3-2	Type d'équilibre d'un bâtiment à ZEB	35
Figure 3-3	Schéma de principe d'une installation de stockage.	38
Figure 3-4	Schéma d'isolation thermique extérieur	40

Figure 3-5	Exemple d'installation photovoltaïque.	41
Figure 3-6	Le projet Solar 2002	41
Figure 3-7	plan du rez-de -chaussée et du premier étage	42
Figure 3-8	Schéma pour les installations du système actif.	44
Figure 3-9	Consommations énergétiques avant et après rénovation.	44
Partie pratique		
Chapitre 4 : présentation de cas d'étude		
Figure 4-1	Localisation géographique de Jijel.	47
Figure 4-2	Plan de masse du bloc 4	48
Figure 4-3	plan 2ème étage du bloc 4	48
Figure 4-4	plan de l'atelier 28	48
Chapitre 5 : Résultats et interprétations		
Figure5-1	perspective Nord-Ouest du bloc 4 modelé sur ECOTECH	55
Figure5-2	Composition de la dalle extérieure (cas existant).	56
Figure5-3	Composition de mur extérieur (cas existant).	56
Figure5-4	Composition de plancher (cas existant).	57
Figure5-5	Mur intérieur (cas existant).	57
Figure5-6	Composition de la dalle extérieure.	59
Figure 5-7	Composition de mur extérieur	59
Figure5-8	Composition de mur intérieur	60
Figure5-9	Diagramme de température intérieur de l'atelier 28 (cas existant).	60
Figure5-10	Diagramme de température intérieur de l'atelier 28 (cas existant).	60
Figure5-11	Diagramme de la consommation énergétique pour l'atelier 28 (cas existant).	61
Figure5-12	Diagramme de la consommation énergétique pour l'atelier 28 (cas rénové).	62
Figure 5-13	Composants de mur extérieur	63
Figure 5-14	Graphe des températures aux interfaces	66
Figure 5-15	Position extérieure de l'isolant	67
Figure 5-16	Représentation des pressions des parois	69

Figure 5-17	Graphe des pressions	71
-------------	----------------------	----

Liste des tableaux

Partie théorique		
Chapitre 1 : Les paramètres de construction pour le Confort hygrothermique dans les équipements d'enseignement supérieur.		
Numéro de Tableau	Titre de figure	Page
Tableau 1-1	Conditions intérieures de confort.	7
Tableau 1-2	Classements des locaux selon l'hygrométrie.	8
Tableau 1-3	Production de chaleur en fonction de l'activité.	12
Tableau 1-4	Isolement thermique dû aux vêtements.	13
Tableau 1-5	Correspondances entre PMV et échelle des sensations thermiques.	16
Tableau 1-6	Les données du diagramme bioclimatique.	17
Chapitre 2 : La Consommation énergétique dans les bâtiments.		
Tableau 2-1	Les différents labels.	25
Chapitre 3 : Le label de bâtiment à zéro énergie (BZE).		
Tableau 3-1	Fiche technique de la maison Solar 2002.	41
Tableau 3-2	Caractéristiques de la construction de la maison Solar 2002.	43
Tableau 3-3	Les matériaux utilisés dans la maison Solar 2002.	43
Partie pratique		
Chapitre 4 : présentation de cas d'étude		
Tableau 4-1	Précipitation moyennes mensuelles –période 2008-2017.	49
Tableau 4-2	Température moyennes mensuelles –période 2008-2017.	49
Tableau 4-3	Vent moyennes mensuelles –période 2008-2017.	49
Tableau 4-4	Humidité moyennes mensuelles –période 2008-2017.	50
Tableau 4-5	Description de la méthodologie suivie dans la simulation par ECOTECH.	51
Tableau 4-6	Constitutions et caractéristiques thermo-physique des parois de l'Atelier 28 avant rénovation.	52
Tableau 4-7	Constitutions et caractéristiques thermo-physique des parois de l'Atelier 28 après rénovation.	53

Chapitre 5 : Résultats et interprétations		
Tableau5-1	Caractéristique de la paroi extérieure.	55
Tableau 5-2	Caractéristiques thermique de la laine de mouton.	58
Tableau 5-3	Caractéristiques de la parois extérieur .	64
Tableau 5-4	Résistance thermique de la laine de mouton.	64
Tableau 5-5	Pression de saturation correspondantes aux températures aux interfaces.	70
Tableau 5-6	Puissance thermique dégagée par habitants	76
Tableau 5-7	La consommation annuelle des appareils par des types des bâtiments.	77

Liste des photos

Partie pratique		
Chapitre 4 : présentation de cas d'étude		
Numéro de photo	Titre de photo	Page
Photo4-1	Bloc 4 université de Jijel.	47
Photo4-2	Façade sud de bloc 4.	48
Photo4-3	Façade Nord -Est de bloc 4.	48
Chapitre 5 : Résultats et interprétations		
Photo 5-1	L'effet des ponts thermiques sur l'Atelier 28	62

Liste des abréviations

ISO	Organisation internationale de normalisation
HQE	Haute Qualité Environnemental
Ta	Température de l'air
Tp	Température des parois
HR	Humidité relative de l'air
MET	Métabolique Equivalent of Task
W/m ²	Watt sur Mètre carré
m ² . K/W	mètre carré par kelvin sur watt
Top	Température opérative
Tmr	Température moyenne radiante
a	Le coefficient en fonction de la vitesse de l'air.
K	coefficient de transmission thermique
PMV	Vote Moyen Prédit
PPD	Pourcentage Prévisible D'insatisfaits
°C	Degré Celsius
THPE	Très Haute Performance Energétique
HPE	Haute Performance Energétique).
kWh/m ² .an	Kilo Watt Horaire sur Mètre carré par an.
BEPOS	Bâtiment à Energie Positive
CO2	Dioxyde de carbone
Mtep	Mégatonne Equivalent Pétrole
RT	Règlement thermique
Fs	Facteur Solaire
tep/hap	tonne d'équivalent pétrole/ hydrocarbures aromatiques polycyclique
GES	gaz à effet de serre.
BZE	Bâtiment Zéro Energie
KW/h	Kilo Watt Horaire.
BBC	Bâtiment à Basse Consommation.
ECS	Eau Chaude Sanitaire
PV	Panneaux photovoltaïques
VRC	Ventilateur récupérateur de chaleur

PEB	Performance énergétique des bâtiments
PAC	La pompe à chaleur
COP	coefficient de performance
EER	Efficacité de la pompe à chaleur en mode froid
U	conductivité thermique
PV/Th	Panneaux photovoltaïque/ thermique
PW/Th	Pompe/ thermique type pw

Les paramètres de construction pour le confort hygrothermique dans les établissements d'enseignement supérieur

1.1. Introduction

Actuellement, le confort hygrothermique est considéré comme une exigence qui présente un souci majeur dans les bâtiments du fait de son impact sur la qualité des ambiances intérieures, la santé, le bien-être et la rentabilité de l'occupant passant les trois quarts de son temps à l'intérieur. L'objectif du présent chapitre est de clarifier la notion du confort hygrothermique à travers la présentation de ses différents paramètres et facteurs qui l'influencent révélant son interdisciplinarité.

L'enseignement supérieur est considéré comme un élément important dans le développement des pays. Un système d'enseignement performant est donc un avantage majeur.

En Algérie le taux de jeunesse élevé constitue un réel potentiel dans le développement intellectuel du pays, cela nécessite un besoin en matière de confort hygrothermique pour les étudiants au sein de leurs établissements afin d'assurer une bonne rentabilité pour les étudiants.

De cette base notre choix de thème a été porté vers l'étude des paramètres de confort hygrothermique dans les établissements d'enseignement supérieur.

1.2. L'enseignement supérieur en Algérie

L'enseignement supérieur en Algérie est passé par plusieurs étapes, en commençant par la création d'université qui est aujourd'hui le produit d'un long processus de construction, d'évolution et de réformes entamés dès 1962 dans un seul établissement : université d'Alger (avec ses deux annexes : Constantine et Oran), les effectifs sont aujourd'hui répartis à travers tout le territoire national, répondant ainsi au principe de service public de proximité. (BERKAT, et autres 2017).

1.3. Les conditions intérieures de confort hygrothermique dans un établissement d'enseignement

Le confort hygrothermique constitue actuellement un enjeu majeur dans les établissements d'enseignement supérieur tant pour la qualité des ambiances intérieures.

Époque de l'année	Température opérative (°C)	Vitesse moyenne de l'air (m/s)	Humidité relative (%)
Été	De 23 à 25	De 0.18 à 0.24	De 40 à 60
Hiver	De 20 à 23	0.15 à 0.20	

Tableau I-1 : Conditions intérieures de confort
Source : Maîtrise des ambiances thermiques (Maria Lopez Diaz)

1.4. Confort hygrothermique

1.4.1. Généralités sur la notion du confort hygrothermique

1.4.1.1. Confort

Étymologiquement, le terme confort, tiré du mot anglais « confort », fait allusion au bien-être matériel résultant des commodités de ce dont on dispose, ou à l'ensemble des éléments qui contribuent à la commodité matérielle et au bien-être. Mais également au Sentiment de bien-être et de satisfaction (Larousse, 1979). C.A. ROULET le définit comme étant : “ une sensation subjective fondée sur un ensemble de stimuli” (ROULET, 1987).

1.4.1.2. Le confort thermique

Défini par la norme internationale ISO 7730 comme étant la satisfaction exprimée en relation avec l'ambiance thermique. Il est tout ce qui contribue à la création d'une ambiance thermique rassurant le bien-être, et s'exprime par une sensation agréable procurée par la satisfaction de besoins physiologiques (l'assurance d'un bilan équilibré entre les échanges thermiques du corps humain et de l'ambiance environnante) et l'absence de tensions psychologiques. Il peut être défini dans un sens négatif, comme l'absence de gêne à la chaleur ou au froid, et dans un sens positif comme un état engendrant le bien-être. (Givoni, 1978)

1.4.1.3. Le confort hygrothermique

Selon la démarche HQE, le confort hygrothermique représente la huitième cible sous la notion de « Ni chaud ni froid, ni humide ni sec ». En hiver comme en été, le confort hygrothermique souhaité par l'occupant consiste généralement à ne vouloir avoir ni chaud ni froid (en fonction des conditions climatiques, des caractéristiques de l'utilisateur, de l'homogénéité thermique). Selon Givoni, le confort ne dépend pas seulement du paramètre de la température mais aussi de l'hygrométrie de l'air intérieur ; une humidité faible ou élevée rend l'ambiance inconfortable ; lorsqu'elle est inférieure à 20%, elle provoque la sécheresse ; lorsqu'elle est supérieure à 80%, elle cause la sensation d'étouffement chez l'individu. (Givoni, 1978)

1.5. Classement hygrothermique d'un bâtiment

- **Local à faible hygrométrie** : les locaux équipés de ventilations mécaniques contrôlées et de systèmes propres à évacuer les pointes de production de vapeur d'eau, dès qu'elles se produisent.

- **Local à moyenne hygrométrie** : les locaux correctement chauffés et ventilés, sans sur occupations, et les locaux de production dont le procès ne génère pas de vapeur d'eau sont des locaux à hygrométrie moyenne.

- **Local à forte hygrométrie** : les locaux médiocrement ventilés et les locaux avec forte occupation sont des locaux à forte hygrométrie.

- **Local à très forte hygrométrie** : les locaux spéciaux ou l'activité maintient une humidité relative élevée, sont des locaux à très forte hygrométrie. (CSTB,2006)

Valeur de classement hygrométrique W/n	Qualification du local
Si $W/n < 2.5g/m^3$	Local à faible hygrométrie
Si $2.5g/m^3 < W/n < 5g/m^3$	Local à moyenne hygrométrie
Si $5g/m^3 < W/n < 7.5g/m^3$	Local à forte hygrométrie
Si $W/n > 7.5g/m^3$	Local à très forte hygrométrie
W =production d'humidité en g/h n=débit d'air neuf en m ³ /h	

*Tableau 1-2 : Classements des locaux selon l'hygrométrie
Source : bâti isolation juillet-septembre 2017 N 32*

1.6. Définition de l'hygrométrie

L'hygrométrie est le rapport entre la quantité d'eau réelle et la quantité maximum admissible, appelé taux d'humidité et exprimé en %. On parle généralement d'hygrométrie par ces trois catégories spécifique, relative et absolue pour caractériser la température et le taux d'humidité de l'air ambiant à l'intérieur d'un local. (DREAL Centre-Val de Loire, 2011).

1.7. Les causes d'un taux d'humidité élevé

Les causes de l'humidité sont nombreuses et variées, Les plus évidentes sont liées aux accidents, comme une rupture de canalisation, des dégâts des eaux (fuites) ou encore une

inondation. Les autres causes sont plus cachées et sont d'autant plus difficiles à déceler que les manifestations de cette humidité peuvent être éloignées des causes réelles. Parmi celles-ci, on trouve :

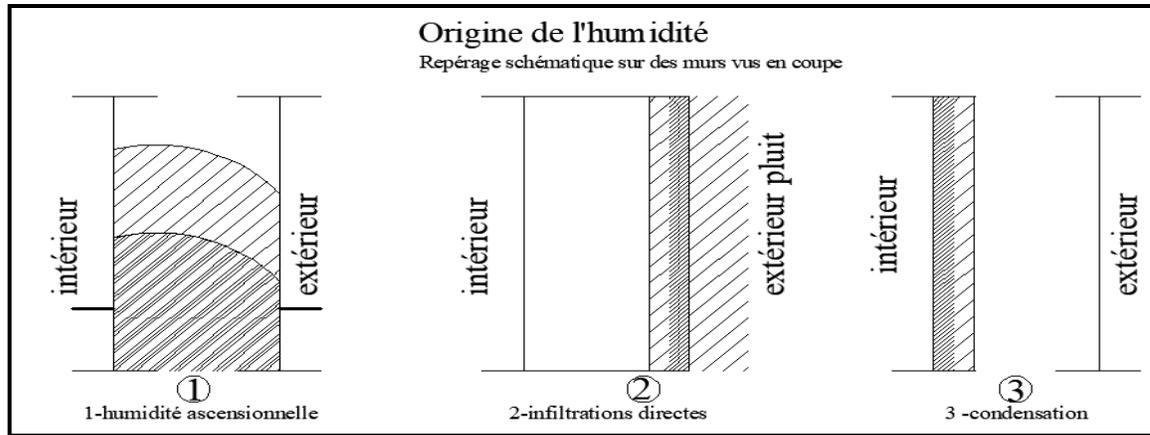


Figure1-1: Origine de l'humidité

Source : « La maison ancienne » - J. et L. Coignet - Éditions Eyrolles 2006

1.8. L'origine de l'humidité

1.8.1. La condensation

Est un phénomène physique de changement d'état de la matière d'un état gazeux à un état condensé (solide ou liquide). Dans la nature la condensation de la vapeur d'eau est une étape importante du cycle de l'eau, à l'origine notamment de la rosée, des nuages et de la pluie, de la neige, du givre ou de certaines formes de verglas. On peut expérimenter ce changement d'état lors d'une douche où, au contact du miroir froid, la vapeur d'eau présente dans l'air se condense en gouttelettes. Elle se manifeste par des coulures sur les parties vitrées, par des taches noires (champignons) dans les zones les plus froides comme les angles de murs, derrière les meubles, dans les placards, sur allèges et linteaux. Toutes ces manifestations sont plus importantes dans les pièces où la température est plus basse.

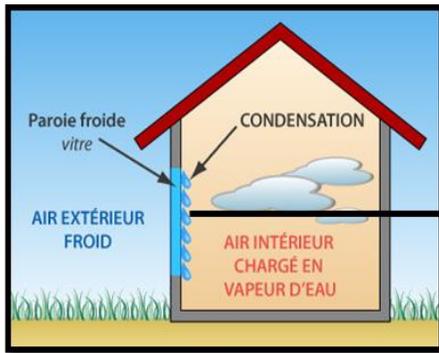


Figure1-2 : le phénomène de la condensation.
source : <http://www.wikimedia.org>



Figure1-3 : les gouttelettes d'eau
source : <http://www.wikimedia.org>

1.8.2. Fuites et infiltrations

Il faut distinguer plusieurs types de fuites ou d'infiltrations :

- Dans les murs en surélévation, elle forme des taches qui vont en s'élargissant à mesure que l'eau descend.
- Dans les dallages sur terre-plein, la fuite de tuyaux d'eau chaude ou froide se reprend dans la chape sous le revêtement de sol et ce sont les cloisons qui servent d'évaporateur. Elle forme des taches horizontales sur le passage d'eau.
- Dans les murs enterrés, si c'est une infiltration on voit l'eau couler. Si elle coule en continu il y a une grande chance que ce soit une fuite sur un réseau ou si elle coule par intermittence lorsqu'il pleut ou bien quelques jours après, ce phénomène est dû à une résurgence d'eau d'un trop-plein. (FUCHS. F-M, RAYMOND. B, 2010.)

1.8.3. Remontées capillaires (ou humidité ascensionnelle)

Ce phénomène se produit dans des matériaux de construction poreux, c'est-à-dire dont la structure présente de nombreuses cavités de faible dimension. Ces cavités sont souvent reliées entre elles et forment de très longs canaux appelés capillaires. (AGDEDN, 2010)

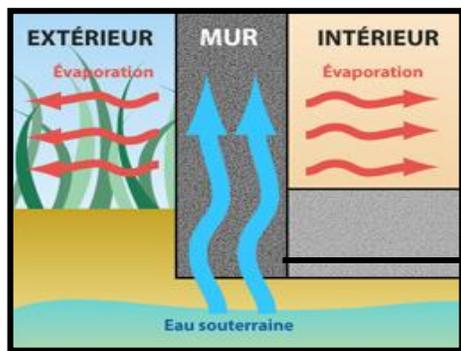


Figure1-4 : la remontée capillaire
Source : <http://www.wikimedia.org>



Figure1-5 : la remontée capillaire dans un mur
Source : <http://www.wikimedia.org>

1.8.4. Une ventilation insuffisante :

Qui engendre une hygrométrie importante, favorisant les problèmes de condensation, de moisissures, de bactéries, etc.

1.8.5. Les infiltrations d'eau (humidité traversant)

L'eau de pluie qui pénètre dans les parois ou le toit du bâti. L'eau imprègne les parois des murs et parvient progressivement à l'intérieur.

1.8.6. La pression hydrostatique : Pression exercée par l'eau sur les fondations du bâtiment.

1.8.7. Les activités des occupants : la vie de l'être humain génère de l'humidité par leur présence (respiration, transpiration) ou par leurs activités (douche, lessive). (Placo, 2015)

1.9. Les paramètres affectant le confort hygrothermique

1.9.1. Paramètres liés à l'ambiance extérieure (à l'environnement)

1.9.1.1. La température de l'air (T_a)

La température de l'air de la zone occupée d'un espace est importante pour l'équilibre thermique et le confort des habitants, puisque l'échange convectif entre le corps et l'air ambiant est proportionnel à la différence de température entre cette température d'air et la température de surface du corps. (RAFFENEL Yoann ,2008)

1.9.1.2. La température des parois (T_p)

L'évolution des températures de parois est difficile à interpréter graphiquement. On préférera regarder la différence de température entre la face externe (à T_{pe}) et interne (à T_{pi}) de la paroi.

1.9.1.3. L'humidité relative de l'air (HR)

L'humidité relative par définition est : « le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température ambiante et la quantité maximale qu'il peut contenir à cette température » (DeHerde A, Liébard A, p2005.)

1.9.1.4. La vitesse de l'air

La vitesse de l'air influence les échanges de chaleur par convection. Dans l'habitat, les vitesses de l'air ne dépassent généralement pas 0,2 m/s. (DeHerde A, Liébard A, 2005.)

1.9.2. Paramètres liés à l'individu

1.9.2.1. Métabolisme

Il s'agit de l'ensemble des réactions chimiques qui se produisent dans le corps, et libèrent une chaleur interne permettant de maintenir le corps humain à une température autour de 36.7°C. Lorsqu'une personne est en mouvement, un métabolisme de travail correspondant à son activité particulière. L'unité couramment utilisée est le MET (Métabolique Equivalent of Task) qui correspond à l'énergie moyenne dépensée par une personne pendant une activité physique. 1MET = 58 w/m². (Fernandez. P, et Ligne. 2009)

Activité	Production de chaleur	
	MET	W/m ²
Repos	0.8	46
Assis inactif	1	58
Debout ; décontracté	1.2	70
Assis en activité	1.2	70
Activité légère debout	1.6	93
Activité moyenne debout	2	116
Activité importante (travaux lourds des industries)	3	174

Tableau1-3 : Production de chaleur en fonction de l'activité

Source : Guide technique de la diffusion d'air, 2006

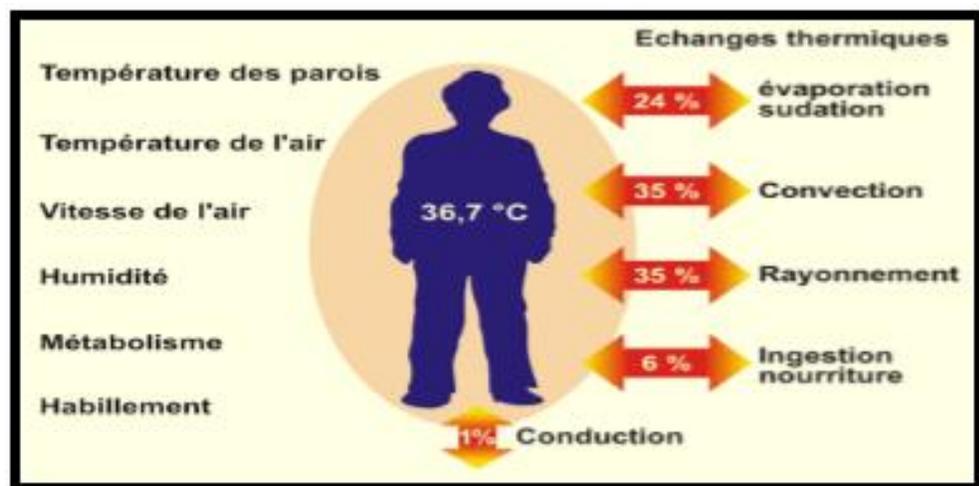


Figure 1-6: Les échanges thermiques entre l'ambiance et l'homme

Source : De Herde, André. Liébard, Alain, 2005

1.9.2.2. Vêtture

La résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement est assurée par les vêtements qui constituent une barrière aux échanges de chaleur convective et radiative entre le corps et son environnement, ils réduisent aussi la sensibilité du corps aux variations de la température et de la vitesse de l'air.

Habillement	Isolation thermique	
	Calorie	M2. K/W
Aucun	0	0
Shorts	0.1	0.015
Habits légers d'été	0.5	0.08
Habits légers de travail	0.7	0.11
Habit d'hiver pour l'intérieur	1	0.155

Tableau 1-4 : Isolement thermique dû aux vêtements
Source : Guide technique de la diffusion d'air, 2006

1.9.3. Paramètres constructifs

1.9.3.1. L'inertie thermique

c'est la capacité d'un matériau à stocker de la chaleur. Plus l'inertie d'un bâtiment augmente, moins il sera sensible aux changements de température. L'inertie est généralement liée à la masse, un matériau lourd stocke mieux qu'un matériau léger.

1.9.3.2. L'isolation

l'isolation permet de conserver la chaleur à l'intérieur du l'établissement. Généralement, les matériaux légers seront les meilleurs isolants.

1.9.3.3. Le déphasage

l'isolation joue aussi un autre rôle, elle préserve la chaleur excédentaire en été en termes de capacité. Les matériaux isolants sont différents à freiner l'entrée de chaleur (déphasage).

1.9.3.4. L'effusivité

Elle représente la capacité d'un matériau à échanger de l'énergie avec son environnement.

1.9.3.5. La perméabilité à la vapeur d'eau

La perméabilité à la vapeur d'eau permet une régulation naturelle du taux d'humidité dans le bâtiment, ce paramètre dépend de la microporosité du matériau. Les matériaux biosourcés et les matériaux minéraux sont perméables à la vapeur d'eau.

1.10. Procédés passifs pour assurer le confort hygrothermique de l'occupant

1.10.1.L'implantation

➤ **La façade principale** : sera idéalement orientée au sud et pourvue de larges baies en double vitrage, afin de capter les rayons du soleil en hiver, minimiser la condensation superficielle, de stocker leur énergie dans la masse du bâtiment, de la conserver par l'isolation afin d'équilibrer la température intérieure/extérieure et restera toujours dans la marge idéale (18°C/20°C) on évitant les dégradations et les moisissures provoquées par l'humidité.

Au nord, il faudra se protéger des vents souvent froids en réduisant au maximum les ouvertures et en limitant aussi les déperditions thermiques. En outre, de grands arbres persistants pourront atténuer la force des vents chargés par les grains d'eau. Ainsi des arbres caducs au sud et sud-ouest. (Izard, J-L, Guyot. A, 1979)

1.10.2.La ventilation naturelle

La ventilation naturelle c'est le résultat d'une bonne implantation, qui permet une exploitation bénéfique du vent en été (ventilation naturelle) tout en évitant l'exploitation préjudiciable en hiver, dont l'objectif est de réduire les besoins énergétiques et d'améliorer le confort hygrothermique de l'occupant.

1.10.3. La forme

Dans les échanges thermiques avec l'environnement, la superficie de l'enveloppe est un facteur important, au même titre de sa nature. Généralement, le choix de la compacité du bâtiment est également une source très importante d'économie d'énergie, car les déperditions thermiques du logement se font par renouvellement d'air et à travers l'enveloppe.

De ce fait, une surface habitable avec une forme compacte est plus économe en énergie qu'une forme éclatée puisque les déperditions sont proportionnelles à la surface d'échange entre l'intérieur conditionné et l'extérieur. (BERGHOUT, B, 2012)

1.11. Evaluation du confort hygrothermique

L'évaluation du confort hygrothermique dans les espaces est un paramètre capital et fondamentale dans toute conception architecturale.

1.11.1. Indices pour l'évaluation de confort hygrothermique

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 en permis d'établir un certain nombre d'indices qui sont en général définis en fonction de la température et la vitesse de l'air.

1.11.1.1. Les indices thermiques

D'après Givoni B. (1978) : « il est nécessaire d'évaluer les effets combinés des facteurs d'ambiance sur les réponses physiologiques et sensorielles du corps et d'exprimer toute combinaison de ceux-ci sous la forme d'un seul paramètre. Ainsi tous les facteurs sont combinés à l'intérieur d'une seule formule, connue sous le nom d'indice thermique » (Givoni B, 1978)

1.11.1.2. Les indices environnementaux simples

1.11.1.2.a. La température de l'air ambiant (Ta)

Elle représente l'indice le plus utilisé pour le contrôle des ambiances intérieures du fait de la simplicité de sa mesure. Ce paramètre ne présente pas de grosses difficultés de mesure et d'évaluation, mais revêt un caractère toutefois limité pour la caractérisation complète du confort. (Cordier N, 2007)

1.11.1.2.b. La température opérative (Top)

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. (Cordier N, 2007)

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

$$\mathbf{Top = k Ta + (1-a) Tmrt}$$

avec :

- ✓ Top : la température opérative. (°C)
- ✓ Ta : La température d'air. (°C)
- ✓ Tmrt : La température moyenne radiante (°C)
- ✓ a : Le coefficient en fonction de la vitesse de l'air.
- ✓ K : coefficient de transmission thermique. (Richieri F. 2008)

1.11.1.3. Les indice PMV et PPD

Les indices PMV et PPD sont décrits par la norme ISO 7730 "Ergonomie des ambiances thermiques - Détermination analytique et interprétation du confort thermique par le calcul des indices PMV et PPD et par des critères de confort thermique local ». (Ambiances-thermiques 2019)

1.11.1.3. a. Le PMV (vote moyen prédit)

Cet indice est basé sur le vote moyen prédit. Le PMV établi par Franger 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 (Dessureault Pierre et all, 2014)

Valeurs de l'indice PMV	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3
Sensation thermique	Chaud	Tiède	Légèrement tiède	Neutre	Légèrement frais	Frais	Froid

Tableau 1-5 : Correspondances entre PMV et échelle des sensations thermiques

Source : energie2.arch.ud.ac.be

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

1.11.1.3. b. Le PPD (Pourcentage Prévisible D'insatisfaits)

Il s'avère impossible de satisfaire tout le monde en réunissant des conditions "idéales", et Le PPD exprime sous forme de pourcentage les sujets « insatisfaits » d'une ambiance thermique déterminée. Par contre, il est possible de créer un environnement dans lequel le pourcentage de personnes satisfaites est maximum, qui correspond aux conditions optimales de neutralité thermique du corps humain. (Justin, K, 2004)

1.11.2. Les outils graphiques d'évaluation du confort hygrothermique

En plus des indices thermiques, plusieurs recherches ont été entamées pour connaître les limites du confort thermique sous forme de diagramme bioclimatique, en 1953 le premier diagramme bioclimatique a été proposé par V. OLGAY. Aussi les tables de MAHONEY, diagramme de GIVONI...etc.

➤ Le diagramme bioclimatique d'OLGAY

Le diagramme bioclimatique est un outil d'aide à la décision globale du projet permettant d'établir le degré de nécessité de mise en œuvre des grandes options architecturales à partir des exigences de confort thermique, et des profils du climat extérieur sur un même graphique

qui représentent l'inertie thermique, la ventilation généralisée, le refroidissement évaporatif, le chauffage ou la climatisation. (Izard, J-L. Kaçala, 2008)

Le diagramme bioclimatique combine plusieurs types des données sont :

Les données du climat extérieur	Les données du confort thermique	Les données des solutions architecturales
Température de l'air ambiant et humidité, la température radiante moyenne, la vitesse du vent, le rayonnement solaire ...etc.	Paramètres de contrôle du confort thermique	-Inertie thermique -Résistance thermique -Ventilation -Captation solaire -Système de chauffage et de climatisation naturelle

Tableau 1-6 : les données du diagramme bioclimatique

Source : Cyberge. Revues. Or

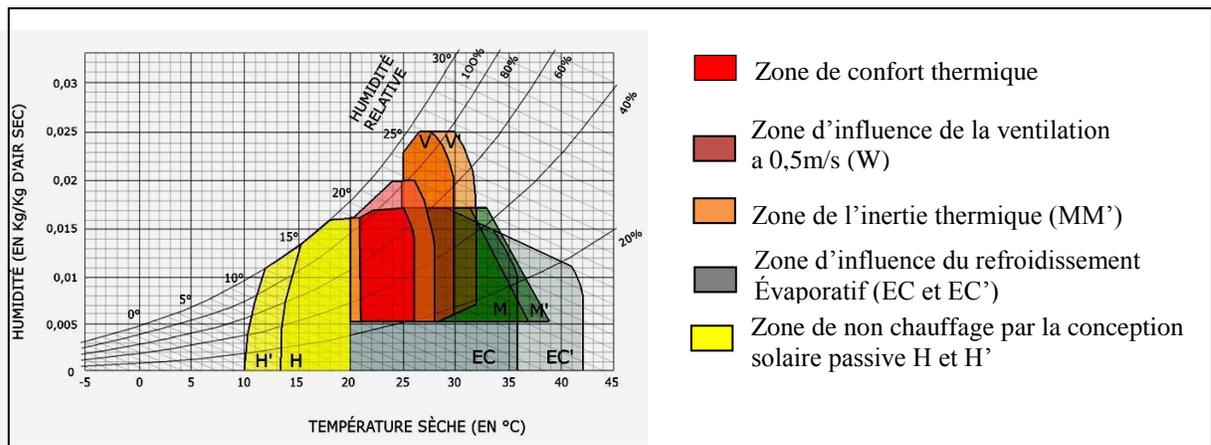


Figure 1-7 : Diagramme bioclimatique d'OLGAY.

Source : www.energieplus.lesite.be

1.11.3. L'évaluation de confort hygrothermique par le Thermo-Hygro-mètre

La mesure se fait au moyen des sondes. L'appareil affiche les valeurs instantanées et les valeurs Min/Max. Ces appareils ont un large champ d'application allant de mesures industrielles classiques à des contrôles agro-alimentaire, en passant par la mesure de la teneur en humidité du bois ou d'autres matériaux (via des pointes électrodes) ou la mesure du confort intérieur dans les bâtiments, le risque sanitaire (conditions d'apparition de moisissures ou autres pathogènes), le risque de verglas ou de condensation indésirable (point de rosée).

1.12. La réglementation thermique algérienne

La réglementation thermique algérienne est basée sur deux documents techniques réglementaires (DTR). Le premier DTR est relatif à la période d'hiver, alors que le deuxième concerne la période d'été, **(DTR C3-2)** et **(DTR C3-4)**.

a- Vérification d'hiver (DTR C3-2)

Ce DTR concerne la période d'hiver. Il stipule que les déperditions calorifiques par transmission à travers les parois calculées pour la période d'hiver doivent être inférieures à une valeur de référence. $DT \leq 1.05 D_{réf}$

b- Vérification d'été (DTR C3-4)

Ce deuxième DTR est réservé à la période d'été et mentionne que les apports de chaleurs à travers les parois (opaques et vitrées) calculés à 15h du mois de juillet (considéré comme le mois le plus chaud de l'année) doivent être inférieurs à une limite appelée « Apport de Référence ». $APO (15 h) + AV (15 h) \leq 1.05 D_{réf}$

Conclusion

D'après tous les paramètres ciblés dans ce chapitre ; on distingue que les conditions de confort hygrothermique dépendent de certaines caractéristiques liées à l'individu (sexe, âge, activité, habillement). Simplement défini comme la sensation de n'avoir ni trop chaud ni trop froid, et de ne pas ressentir ni l'humidité ni le courant d'air, ni les fortes variations de la température ambiante, le confort hygrothermique révèle une importance primordiale participant ainsi au bien-être, à la santé et à la rentabilité de l'individu.

La sensation du confort hygrothermique n'est pas directement liée à la température de l'air intérieur, car la température vraiment ressentie est le résultat des effets conjugués de la température de l'air, celle des parois, de l'humidité relative et de la vitesse de l'air à l'intérieur du local.

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

Assurer un confort hygrothermique signifie, assurer une température constante en toute saison (18-20 °C), un taux d'humidité de 40 à 60 % et une différence de 3 °C entre la température de l'air intérieur et celle des parois.

La consommation énergétique dans les bâtiments

2.1. Introduction

L'énergie est utilisée dans l'activité humaine sous ses différentes formes notamment mécanique, thermique, chimique, électrique et nucléaire, permettant à chacune des utilisations différentes. Considérée aussi comme un bien social, l'énergie nous fait vivre et assure notre bien-être. Le bâtiment avec ses différents secteurs (habitation, tertiaire, résidentiel, ...) utilise cette énergie pour répondre aux besoins et de confort (éclairage, cuisson, chauffage, climatisation).

L'énergie utilisée pendant la construction, la rénovation et l'utilisation d'un bâtiment peut être calculée de façon globale et considérablement réduite. Une évaluation globale du bâtiment nécessite de prendre en compte la consommation d'énergie lors de sa fabrication, son fonctionnement et sa démolition. La flambée de la consommation d'énergie dans le monde durant ces dernières décennies est un fait incontestable.

Actuellement, la consommation énergétique reste très vorace. Cette croissance a engendré de nouveaux défis, sur le plan environnemental et économique tout en sachant que le changement climatique liée à l'augmentation des gaz à effets de serre est généré en grande partie par le CO₂ dû à la production et la consommation d'énergie.

2.2. Généralités sur l'énergie

L'énergie ne se voit pas, ne se pèse pas ; elle est inodore et sans saveur ; l'énergie ne se crée pas, ne disparaît pas : elle existe. Son existence n'est révélée que par sa transformation et son transfert. Sa manifestation dans les phénomènes naturels est donc bien réelle.

D'après le dictionnaire de l'Académie française, l'énergie, est la force en action.

-Pour les scientifiques et les ingénieurs, l'énergie est la capacité qu'a un corps, un système, de produire un travail susceptible d'entraîner un mouvement, une production de chaleur ou d'ondes électromagnétiques (dont la lumière).

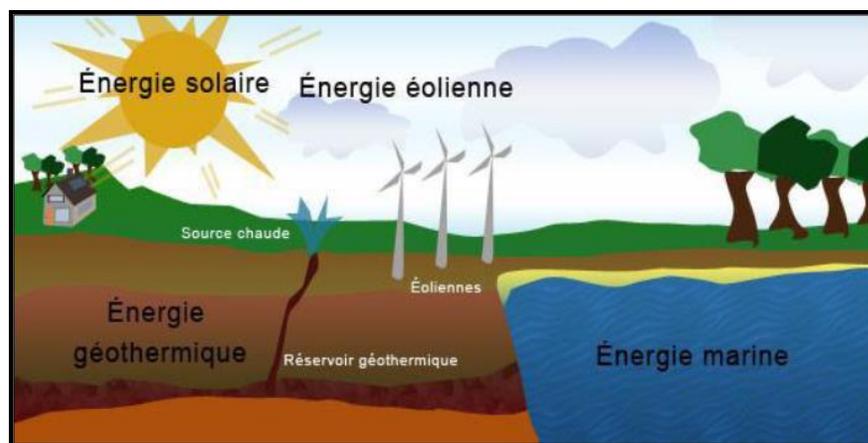
-En thermodynamique : on distingue deux principales formes d'énergie, le travail qui est l'énergie fournie par une force lorsque son point d'application se déplace, souvent énergie cinétique macroscopique ou énergie électrique, et la chaleur qui est l'énergie cinétique microscopique.

2.3. Classement des énergies

Selon les filières deux classes existent les énergies renouvelables et les énergies non-renouvelables

2.3.1. Les énergies renouvelables

Leurs sources d'énergie se renouvellent assez rapidement. Elles sont considérées comme inépuisables à l'échelle de l'homme. Ces énergies ont leurs sources dans des phénomènes naturels réguliers, telles que l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique, l'énergie géothermique et l'énergie solaire. (Ecoso, 2019)



*Figure 2.1 : les énergies renouvelables.
Source : Feddaoui, (2014).*

2.3.2. Les énergies non-renouvelables

Leurs sources d'énergie sont limitées dans la planète, elles ne se renouvellent pas assez rapidement voire ne se renouvellent plus. Elles sont bien implantées et permettent des tarifs bas, mais renforcent l'effet de serre. Telles que l'énergie nucléaire, le charbon, le pétrole et le gaz Naturel.

2.4. Types d'énergies

Pour l'analyse des ressources énergétiques, une distinction essentielle est faite entre les énergies primaires et les énergies secondaires.

2.4.1. Les énergies primaires

Ce sont celles dont les sources sont des phénomènes naturels ou des matériaux extraits de la terre, plus ou moins prêtes à l'emploi et qui sont susceptibles de satisfaire tous nos besoins, de manière directe ou indirecte, comme le pétrole brut, le gaz naturel, les combustibles minéraux, le rayonnement solaire, l'énergie hydraulique, l'énergie éolienne

2.4.2. Les énergies secondaires

Elles n'existent pas comme telles dans la nature. Elles sont obtenues par transformation à partir d'une autre énergie. Un des exemples les plus connus est l'électricité. Pour désigner les énergies secondaires on utilise souvent l'expression «vecteurs énergétiques».

2.5. L'énergie et le développement durable

En effet, favoriser le développement durable, c'est réintroduire à long terme l'énergie pour devenir « développement énergétique durable » qui peut être défini comme l'art de concilier deux exigences :

- La satisfaction des besoins énergétiques actuels, liés au confort et au développement économique.
- Le respect de l'environnement et la préservation des ressources et de la capacité au « bien-être énergétique » pour les générations futures.

Un développement énergétique durable implique donc trois priorités.

- Mener une politique active pour une économie d'énergie
- Développer l'utilisation des énergies renouvelables.
- Rechercher de nouvelles sources d'énergie permettant une plus grande efficacité et une indépendance optimale des pays. (Despretz, H, 2004).

2.6. Maîtrise de l'énergie et le contexte réglementaire en Algérie

Aujourd'hui notre pays dispose d'un arsenal juridique important en matière de rationalisation de l'utilisation de l'énergie dans le bâtiment.

➤ La loi 09-99 du 28 Juillet 1999, relative à la maîtrise d'énergie 159 est une loi cadre, elle traduit un des objectifs fondamentaux de la politique énergétique nationale, à savoir la gestion rationnelle de la demande d'énergie et fixe de nombreux aspects liés à la maîtrise de l'énergie dans le domaine de la construction. (Jora, 1999).

- La loi 04-09 du 14 Août 2004 relatives à la promotion des énergies renouvelable dans le cadre de développement durable. (Jora, 2004).
- Le décret exécutif 04-149 du 19 Mai 2004 fixant les modalités d'élaboration du Programme national de maîtrise de l'énergie. (JORA, 2004).
- Arrêté interministériel du 29 novembre 2008 définissant la classification d'efficacité énergétique des appareils à usage domestique soumis aux règles spécifiques d'efficacité énergétique et fonctionnant à l'énergie électrique. (JORA, 2009).

2.7. Efficacité énergétique dans le bâtiment

L'efficacité énergétique se réfère à la réduction de la consommation d'énergie sans toutefois provoquer une diminution du niveau de confort ou de qualité de service dans les bâtiments. Elle correspond à réduire à la source la quantité d'énergie nécessaire pour un même service, soit, mieux utiliser l'énergie à qualité de vie constante. (Sennit, 2007).

2.7.1. Classification énergétique des bâtiments

La classification énergétique est établie selon le degré de consommation annuelle d'énergie par m² (en kWh/m².an). Sept classes sont déterminées, comme pour l'électroménager, allant de la classe A à la classe G :

- **La classe A** : logement économe avec une consommation annuelle d'énergie primaire pour le chauffage, L'eau chaude sanitaire.
- **La classe G** : la classe énergivore, avec une consommation égale ou supérieure à 450kWh/m².an. (De Haut, 2007).

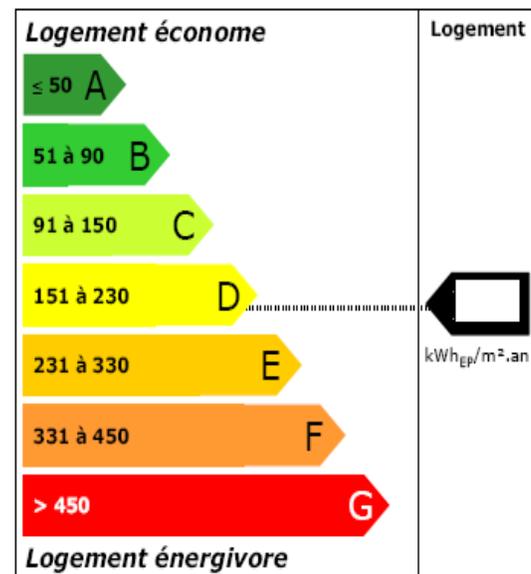


Figure 2-2 : Etiquette de performance énergétique.
Source : Amjahdi et lemale, (2010)

2.7.2. Labellisation énergétique

Le label a pour objectif de contrôler et d'approuver un ensemble des éléments contribuant à obtenir une haute performance énergétique.

2.7.2.1. Définition

Le label est une marque spéciale conçue par une organisation publique ou privée (syndicat professionnel, organisme parapublic, ministère, association...), pour identifier et pour garantir soit l'origine d'un produit soit/et un niveau de qualité.

2.7.2.2. Labels énergétiques français

Ils fixent la consommation de chauffage des logements neufs à 85 kWh/m².an, mais il existe de très fortes variations dans la performance énergétique des logements anciens par rapport aux logements actuels, malgré le renforcement de l'isolation thermique et de l'efficacité des équipements de chauffage, la consommation de chauffage ne cesse d'augmenter. (De Haut, 2007).

2.7.2.2. a. Les labels haute performance énergétique

Ces labels ont été mis en place pour valoriser les bâtiments neufs obtenant un niveau de performance énergétique supérieur au niveau réglementaire. Ils sont attribués par des organismes en convention avec l'État. (ADEME, 2007).

- **Label THPE (Très Haute Performance Énergétique)**

Le label Très haute performance énergétique (THPE), représente la consommation globale d'énergie inférieure de 20 % à la consommation de référence RT 2005. Le label THPE EnR (THPE Énergies renouvelables) consommation globale d'énergie inférieure de 30 % à la consommation de référence RT 2005. (Maes, 2009).

- **Label HPE (Haute Performance Énergétique)**

Les maîtres d'ouvrages et promoteurs, obtenant des résultats encore plus performants que les exigences de la réglementation thermique, peuvent les valoriser au moyen de l'un des cinq niveaux de performance du label HPE, dont les contenus sont détaillés dans un arrêté du 27 juillet 2006. On distingue : « Le label HPE (Haute performance énergétique) indique une consommation globale d'énergie inférieure à 10 % à la consommation de référence RT 2005 ;

Le label HPE EnR (HPE Énergies renouvelables) indique le niveau du label HPE et besoins en chauffage assurés à plus de 50 % par une chaudière bois-énergie (ou biomasse) ou un réseau de chaleur alimenté à plus de 60 % par des énergies renouvelables. » (Maes, 2009).

2.7.2.2. b. Label BBC (bâtiment a basse consommation)

Le label BBC (Bâtiment basse consommation) indique la consommation énergétique globale

égale ou inférieure à 50 kWh/an.m², un niveau pondéré selon l'altitude et la zone climatique, soit entre 40 et 75 kWh/m².an. L'obtention du niveau BBC peut être validée par le label « Effinergie ». (Maes, 2009)

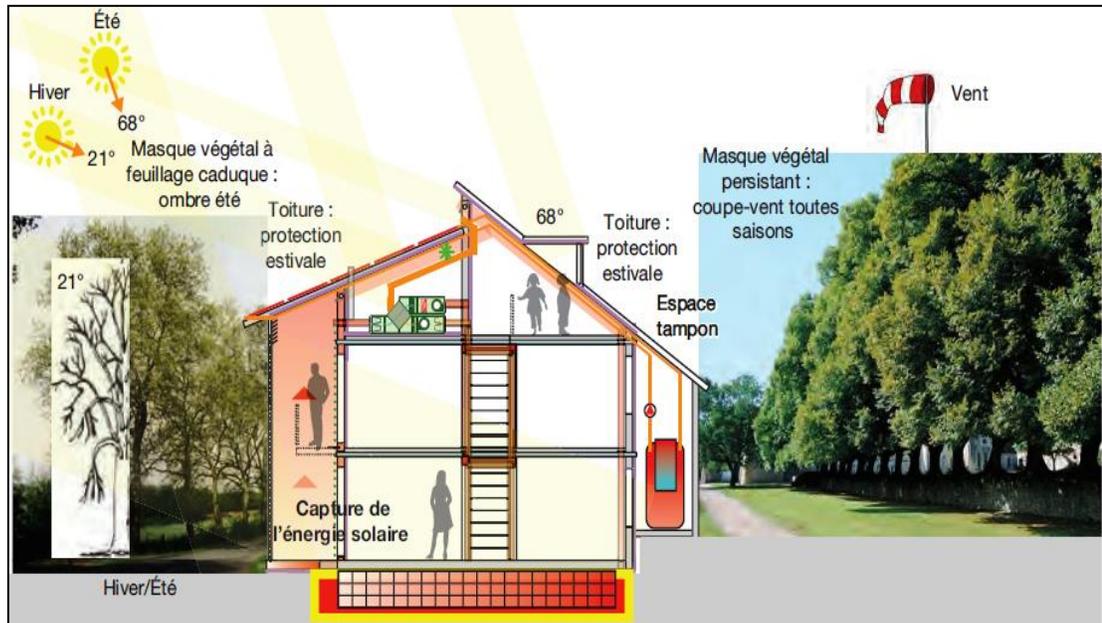


Figure 2.3. Principaux besoins d'une maison à basse énergie
Source : Garnier, (2012).

L'intégration du concept énergétique dès le début du projet considère une forme compacte, une isolation thermique renforcée, une limitation des ponts thermiques, une étanchéité de l'air, l'utilisation efficace de l'énergie solaire passive, l'installation des techniques performantes et faciles à utiliser, des appareils sanitaires économes en eau, des équipements électriques économes en énergie, et un choix de matériaux de construction recyclables dont la production et la mise en œuvre nécessitent peu d'énergie. (Gauzin-Muller, 2005)

2.7.2.2.c. Effinergie, Passivhaus et Minergie

Le pays d'origine d'un label n'empêche pas son emploi sur un autre territoire. (Robert et Fabas, 2008)

En 2007, L'Effinergie est une association qui fixe comme objectif un référentiel afin de pouvoir mettre en place une certification. Ainsi, l'Autriche aura son label pour promouvoir les bâtiments à basses énergie, sur le modèle des démarches Minergie en Suisse et Passivhaus en Autriche. (De-Haut, 2007).

	Pays d'origine	Définition de l'Energie Primaire	Consommation maximale
PassivHaus	Allemagne	Chauffage, ECS, Ventilation, Ecologique, Auxiliaire, Electroménager	120 kWh/m ² /an
Minergie	Suisse	Chauffage, ECS, Ventilation	42 kWh/m ² /an
Effinergie	France	Chauffage, ECS, Ventilation, Eclairage, Auxiliaire	50 kWh/m ² /an

Tableau 2-1 : les différents labels.

Source : Le Moniteur, (2007).

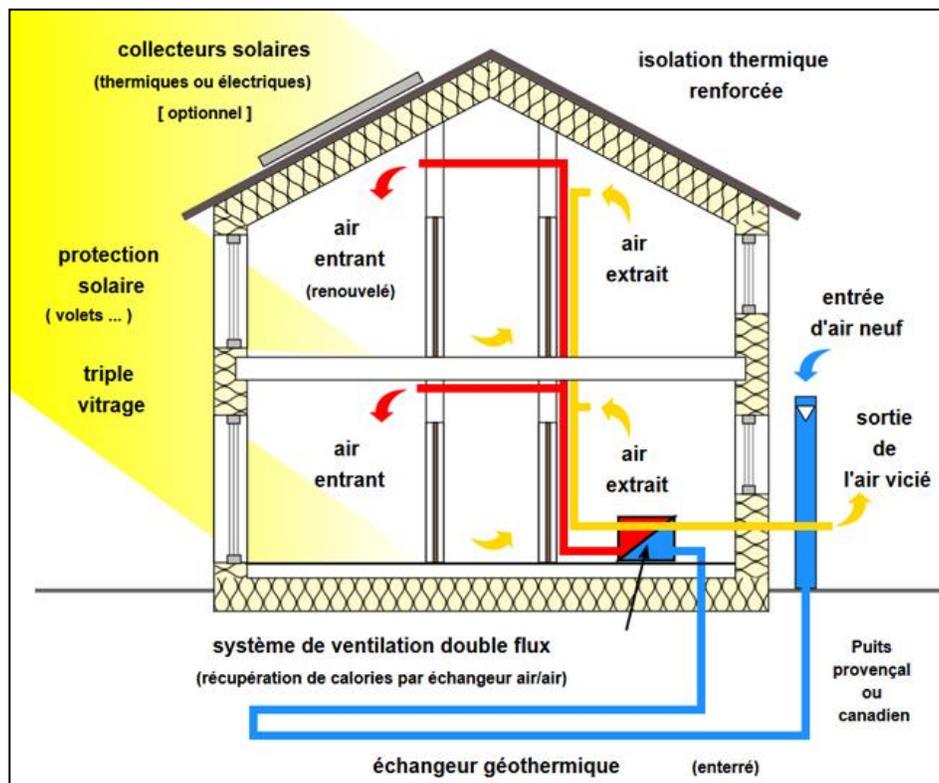


Figure 2-4 : Schéma d'une maison passive.

Source : maison-container, (2018)

Un échangeur air-sol connu sous le nom de puits canadien ou, plus récemment puits climatique, est un échangeur géothermique à très basse énergie utilisée pour rafraichir ou réchauffer l'air ventilé dans un bâtiment. Ce type d'échangeur est notamment utilisé dans l'habitat passif.

2.7.2.2. d. Bâtiments à Zéro Energie (BZE)

Le bâtiment zéro énergie combine de faibles besoins d'énergie à des moyens de production d'énergie locaux et sa production énergétique équilibre sa consommation.

Ce bâtiment obtient toutes ses énergies requises par l'énergie solaire et d'autres sources renouvelables et il présente des niveaux d'isolations supérieurs à la moyenne. (Laustens, 2008).

➤ Utilisation de l'énergie solaire au niveau des bâtiments (BZE)

L'énergie solaire est une alternative particulièrement intéressante pour économiser l'énergie et réduire les émissions de gaz à effet de serre, responsables du changement climatique. Au moyen de différents systèmes, on peut capter directement l'énergie du rayonnement solaire par les panneaux solaires thermiques qui convertissent le rayonnement solaire en chaleur et les panneaux photovoltaïques qui transforment directement une partie de cette énergie en électricité.

L'intégration des capteurs solaires dans le bâtiment doit être étudiée précisément, tant pour assurer une bonne efficacité énergétique des équipements que pour obtenir une qualité esthétique satisfaisante. De ce fait la recherche d'une cohérence de forme entre le plan de toiture et les capteurs est nécessaire. (Attia, 2010)

2.5.2.2.e. Bâtiments à énergie positive

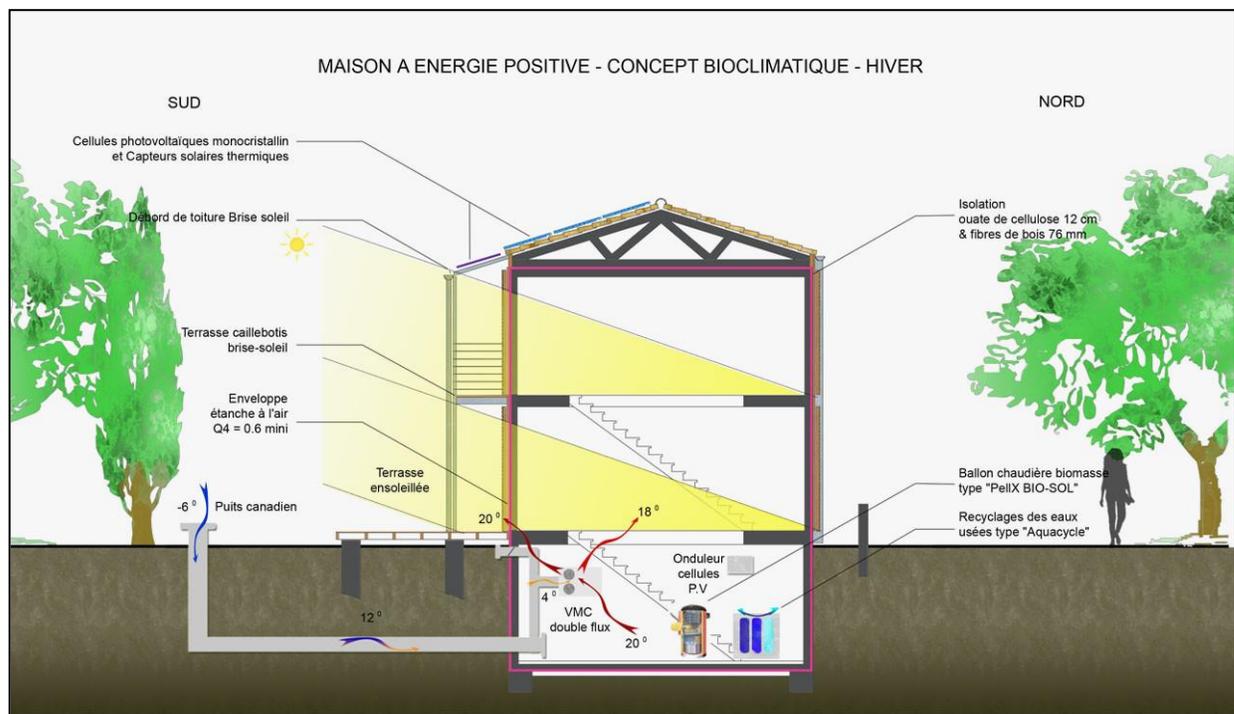


Figure 2-5 : Principaux besoins d'une maison à énergie positive.

Source : Garnier, (2012).

Appelé parfois BEPOS, c'est un bâtiment qui produit plus d'énergie (électricité, chaleur) qu'il n'en consomme pour son fonctionnement, on peut dire aussi qu'il est un bâtiment passif très performant équipé en moyens de production d'énergie supérieurs par rapport à ses besoins en énergie.

2.8. Le certificat de performance énergétique (certificat PEB)

Le certificat énergétique est un document officiel portant sur la performance énergétique d'un bâtiment (délivré en Europe mais pas encore en Algérie). Il est exprimé sous forme d'une quantité de kWh par m² par an (la consommation du bâtiment est exprimée en kilowattheure par mètre carré par an). Ce chiffre est complété d'un label, afin de visualiser facilement cette performance.

Avec une valeur de Econs = 156,36 kWh/m² .an, l'habitat est classé à la D, moyen mais reste énergivore, des solutions existent pour élever le niveau énergétique. (Kharchi, 2013)

2.9. La consommation énergétique

2.9.1 Définition de la consommation énergétique

La consommation d'énergie correspond à la quantité d'énergie qui est utilisée par un appareil ou un bien bâti. On peut donc également parler de consommation d'énergie pour chaque appareil utilisant une source d'énergie.

D'ailleurs, l'unité de mesure qui permet de comparer la consommation énergétique d'une maison, ou tout autre logement, est le kW/m²/an. (Agence -France-Electricité. 2015).

2.9.2. Norme de la consommation énergétique

Les normes actuelles pour la consommation énergétique des logements sont en ce moment en train d'être adaptées afin d'atteindre une consommation d'énergie inférieure à 50kW par m² par an. Cela permettrait de réaliser des économies d'énergie et de réduire l'impact environnemental par rapport au rejet de CO₂. (Agence -France-Electricité. 2015)

2.10. La consommation d'énergie dans le secteur des bâtiments

2.10.1. Contexte énergétique mondial

Le secteur des bâtiments a des enjeux énergétiques mondiaux et régionaux importants. Au niveau mondial, Le secteur des bâtiments représente à lui seul autour de 32 % de la consommation d'énergie finale et contribue à hauteur d'un tiers environ des émissions de CO₂, comme la montre (Henri-Luc Thibault Et El Habib El Andaloussi, 2011).

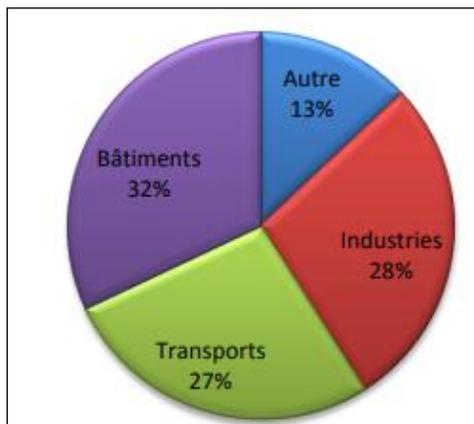


Figure2-6 : Répartition de la consommation mondiale d'énergie finale par secteurs en 2008,
Source : Agence internationale de l'énergie, (2010).

2.10.2. Contexte énergétique national

La consommation nationale de l'énergie, toutes formes confondues (gaz, produit pétroliers et électricité) est passée d'environ 30.1Mtep en 2000 à 41.1Mtep en 2008, soit un taux de croissance moyen annuel de l'ordre de 3.7% et une consommation moyenne de 1.2 tep/hab. Cette reprise de la consommation enregistrée ces dernières années devrait se consolider sur le moyen terme avec les perspectives de la croissance économique du pays. (N. Morel et E. Gnansounou, 2008)

2.11. Les causes d'un énergivore

Le bâtiment est classé comme étant un secteur énergivore ; en conséquence, il est source d'une partie non négligeable de la pollution.

Cette énergie est l'objet de nombreux usages, notamment :

Le chauffage et/ou le refroidissement, pour assurer un climat intérieur confortable ;

- La circulation de fluides tels que l'air (ventilation), l'eau (eau chaude sanitaire, chauffage)
- Déplacement en hauteur (ascenseurs) ;
- L'éclairage ;
- Les communications (téléphone, radio, télévision) ;
- La production de biens (fabriques, cuisines, couture, etc.).

Dans les climats tempérés et froids, la plus grande part de l'énergie utilisée par un bâtiment sert au chauffage. Le flux de chaleur généré dans le système de chauffage aboutit inévitablement à l'extérieur par différentes voies plus ou moins directes. Dans les climats plus chauds, il peut être nécessaire et en tous cas confortable d'abaisser la température intérieure des bâtiments. Ce

refroidissement, et l'assèchement de l'air (sous les tropiques) peut aussi être un grand consommateur d'énergie. (N. Morel et E. Gnansounou ,2008)

2.12. La consommation d'énergie dans les bâtiments à zéro énergie (ZEB)

Les systèmes d'énergie renouvelable, le stockage de l'énergie, les applications de chaleur et de puissance combinées, et de nombreuses charges d'énergie peuvent désormais être regroupés de façon utile. Il en résulte une réduction considérable de l'empreinte énergétique et carbone. À mesure que les bâtiments deviennent plus intelligents, le nombre de bâtiments dont la consommation nette d'énergie est nulle ne va augmenter ; ce qui représente une part importante de l'économie à faible émission de carbone dans le futur. (Building efficiency initiative, 2010)

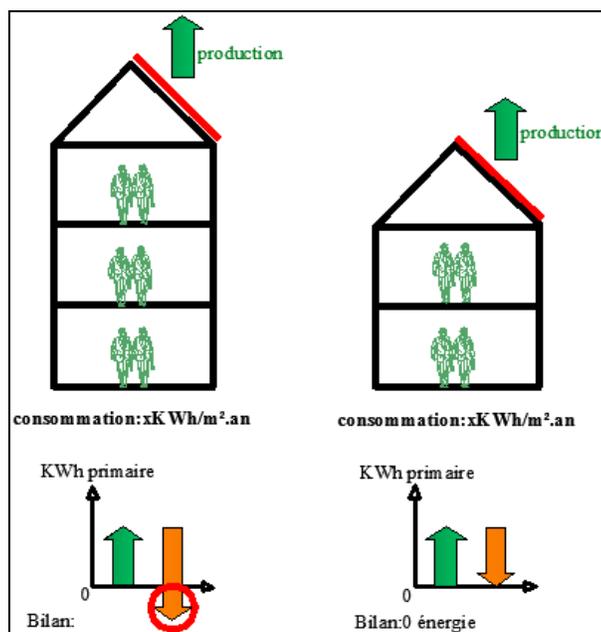


Figure 2-7 : une réflexion sur le « zéro-énergie » pour deux bâtiments.
Source : Flémal, Architecture et climat, (2012).

2.13. Le bilan thermique

Faire le bilan thermique d'un bâtiment ou d'un local, consiste à effectuer un calcul de déperditions et des apports thermique du bâtiment.

Le calcul des déperditions doit être effectué pour répondre à trois préoccupations :

- La plus évidente étant le dimensionnement : ce calcul nous fournira la puissance émise vers l'extérieur et donc la puissance nécessaire fournie par les radiateurs des radiateurs nécessaire.
- Le calcul des déperditions est également un outil de vérification et de détermination de l'identité thermique.

- Enfin, le calcul des déperditions nous permettra d'avoir accès au calcul des consommations d'énergie. (Akchiche, 2011)

2.13.1. Les échanges thermiques du corps humain

Les interactions thermiques entre le corps humain et son environnement s'effectuent par conduction, convection, rayonnement, transpiration, respiration

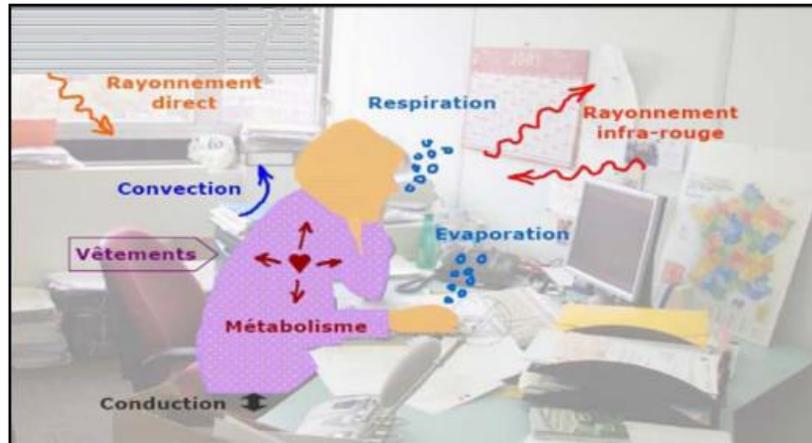


Figure 2-8 : L'interaction thermique entre le corps humain et son environnement,
Source : Mazari M., (2012)

2.13.2. Le bilan thermique d'hiver

2.13.2.1. Objectif de faire le bilan thermique d'hiver d'un bâtiment

- Déterminer les besoins de chaleur du bâtiment en hivers.
- Connaître la puissance de chauffe à installer dans chacun des locaux d'un bâtiment.

2.13.2.2. Déperdition thermique

Les déperditions représentent la quantité d'énergie qu'il est nécessaire d'émettre en œuvre pour chauffer une pièce, un bâtiment. Les pertes d'énergie d'un bâtiment sont en majorité dues à une enveloppe inadaptée. L'enveloppe comprend les murs, les sols, le toit, les portes et les fenêtres. La figure ci-après nous montre d'où provient généralement le transfert de chaleur, à savoir des murs extérieurs et des espaces mitoyens non-chauffés. Des majorations doivent être appliquées aux déperditions. Elles sont dues à : l'orientation et Aux vents. (Thierry, 2012)

2.13.2.2.a. Déperdition calorifiques par transmission

En régime stationnaire la paroi d'un local chauffé perd de la chaleur vers l'extérieur ou vers un autre local où la température est plus basse, le flux de chaleur est la somme des déperditions surfacique de la paroi et les déperditions linéique (ponts thermiques).

2.13.2.2.b. Déperditions calorifique par ventilation

En hiver, la quantité d'air chaud qui sort vers l'extérieur est égale à la quantité d'air froid entrant à l'intérieur du local. Ce remplacement d'air chaud par l'air froid est une déperdition de chaleur provoquée par la ventilation. (Foura, 2008)

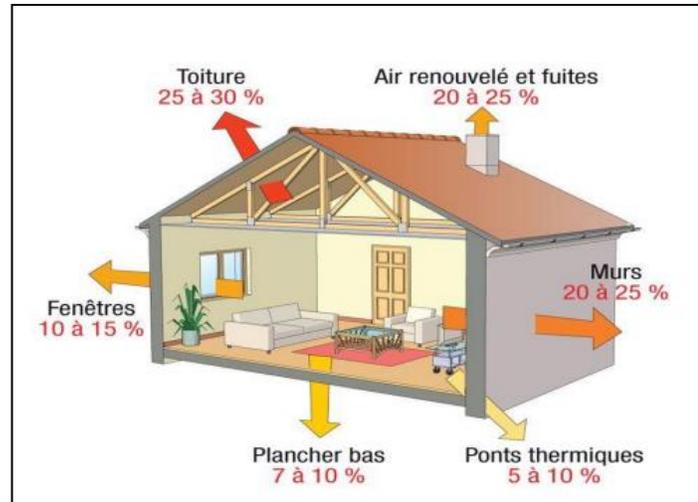


Figure 2-9 : Pertes d'énergie dans un bâtiment non isolé
Source : Thierry Rieser, (2012)

2.13.2.2.c. Les apports de chaleur internes

C'est la quantité de chaleur produite à l'intérieur des locaux, ces apports proviennent essentiellement des occupants, de l'éclairage artificiel, et du matériel et appareils utilisés à l'intérieur des locaux. (Morel, 2007)

2.13.3. Le bilan thermique d'été

2.13.3.1. Objectif de faire le bilan thermique d'été d'un bâtiment

Le bilan thermique d'été a pour objectif de :

- Calculer les apports (gains) de chaleur.
- Déterminer les besoins en froid et par la même, les puissances de climatisations d'été à installer.

2.13.3.2. Apports de chaleur par les parois

2.13.3.2.a. Apports de chaleur par les parois opaques

Lorsqu'un flux de chaleur sous forme de rayonnement arrive à une paroi, celle-ci absorbe une partie de ce flux et le reste sera réfléchi vers l'environnement. La partie absorbée est liée au coefficient d'absorption de la paroi, qui est fonction de la hauteur des matériaux constituant la paroi, sa surface et sa couleur.

2.13.3.2.b. Apports de chaleur par les parois vitrées

Pour un simple vitrage normalement propre : Facteur solaire $F_s = \text{flux transmis}/\text{flux incident} = 80\%$. (Mazari, 2012)

2.13.3.3. Apport global de chaleur par transmission

2.13.3.3.a. Apports de chaleur par ventilation

Les apports de chaleur par ventilation dans le bâtiment sont l'effet de l'entrée de l'air extérieur chaud dans les locaux et par conséquent la sortie de l'air intérieur plus frais.

2.13.3.3.b. Apports de chaleur internes

Les apports internes de chaleur qui représentent la somme des quantités de chaleur produites à l'intérieur des locaux (bilan thermique d'hiver).

2.13.3.3.c. Besoin global de froid

C'est la somme algébrique des apports de chaleur par transmission, des apports chaleur par ventilation, et des apports de chaleur internes. (Foura, 2008)

2-14. Pont thermique

Un pont thermique est une partie de l'enveloppe du bâtiment où la résistance thermique uniforme par ailleurs est sensiblement réduite par une absence ou une dégradation locale de l'isolation, cette partie donne lieu à d'importantes fuites de chaleur vers l'extérieur. Les ponts thermiques dépendent du système constructif, du niveau et du type d'isolation des parois. Ça peut être des ponts thermiques linéaires, des ponts thermiques ponctuels ou des ponts thermiques structurels. (SALEM, Ferakh, 2006)

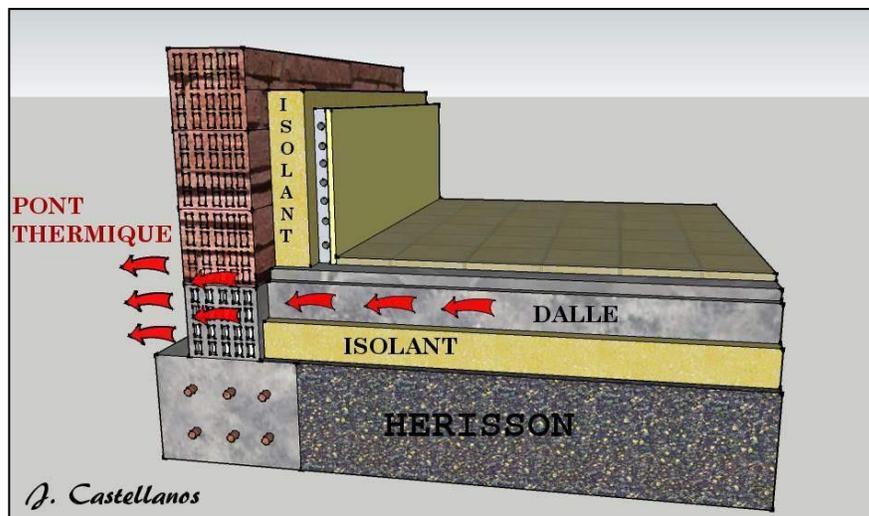


Figure 2-10 : un type de pont thermique.
Source : isolation France

Conclusion

Le bâtiment est considéré comme un secteur économique clé, fortement consommateur d'énergies et émetteur de gaz à effet de serre. On constate que la climatisation et le chauffage consomment une portion non négligeable en matière d'énergies. Pour une meilleure efficacité énergétique des bâtiments, l'exploitation rationnelle et le remplacement progressif des sources d'énergies traditionnelles par des énergies renouvelables, doivent figurer parmi les objectifs de toute politique énergétique viable.

Pour une meilleure construction, il est nécessaire d'évaluer les niveaux de confort dans les bâtiments par le calcul du bilan thermique constitue l'un des moyens les plus privilégié.

Il est nécessaire de diminuer le taux de consommation en gardant le même confort. Ce qui nous induit à recourir aux systèmes passifs et actifs, afin de garder un meilleur équilibre entre le coût, les sources naturelles et l'environnement.

La conception des bâtiments à zéro énergie est un processus complexe qui nécessite une approche particulière. En effet, la compréhension des principes fondamentaux d'un bâtiment (BZE), le choix des techniques et dispositifs architecturaux est indispensables. Cela sera présenté dans le chapitre suivant.

Le label bâtiment zéro énergie (BZE)

3.1. Introduction

Au moment où la population dans le monde se préoccupe de la technologie et tout ce qui est nouveau, ils ont oublié l'augmentation de la consommation énergétique, et le problème du réchauffement climatique dû aux émissions de gaz à effet de serre (GES), la recherche des solutions pour s'attaquer au problème découvrir des nouvelles ressources, des nouvelles énergies à exploiter est indispensable.

La construction des bâtiments à consommation énergétique zéro (BZE) est l'une des solutions qui peut réduire le problème. Les bâtiments à zéro énergie (BZE) produisent autant d'énergie qu'ils en consomment dans une année et produisent généralement de l'électricité à partir d'énergies renouvelables. La directive sur la performance énergétique des bâtiments prévoit que tous les nouveaux bâtiments aient une consommation quasi nulle dès 2020.

3.2. Généralités sur le bâtiment zéro énergie (BZE)

3.2.1. Définition de bâtiments à zéro énergie (BZE)

Le terme zéro net est utilisé pour calculer la consommation d'énergie annuelle pour les opérations du bâtiment, y compris le chauffage, le refroidissement, ventilation, éclairage et charges multiples. Ce terme est basé sur l'utilisation du réseau électrique comme source et comme moyen de stockage, évitant ainsi le courant électrique sur site. (ATTIA ,2012)

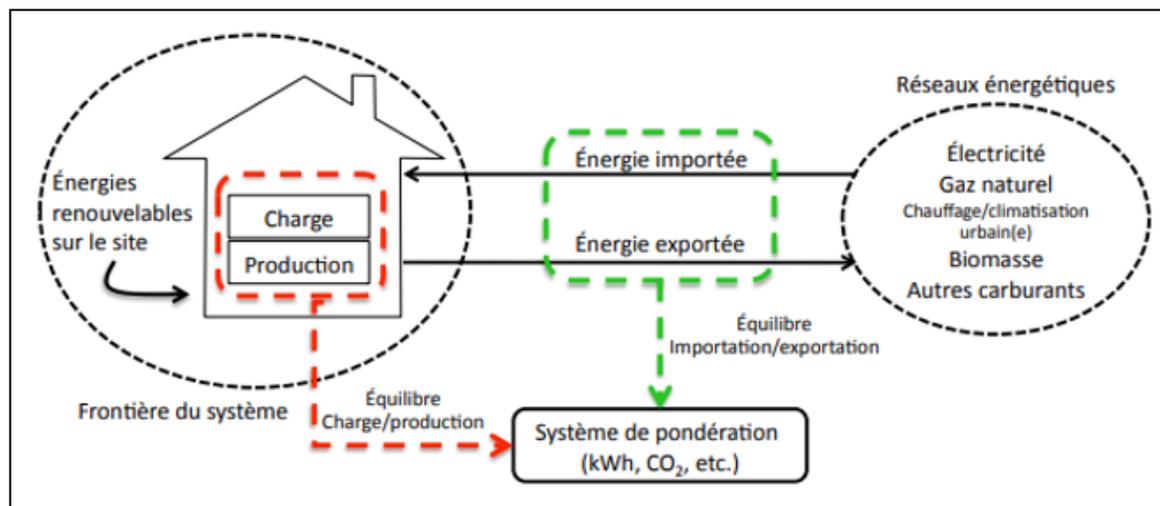


Figure 3-1 : Schéma et terminologie relatifs au bâtiment BZE et leurs liens avec les réseaux énergétiques.

Source : Sartori et autres, (2012).

3.2.1.1. Frontière de système (bâtiment)

D'abord, on considère généralement le site du bâtiment comme frontière du système. L'intérieur du système comprend les énergies renouvelables produites sur place et toutes les charges, c'est-à-dire toute l'énergie consommée par le bâtiment. L'intérieur du système interagit avec le réseau, en important et exportant de l'énergie vers le réseau. L'énergie échangée peut être de l'électricité, destinée pour en chauffage et la climatisation. (Voss et autres, 2012).

3.2.1.2. Indicateurs et pondération

La méthode la plus simple pour comprendre le bilan énergétique est celui d'une maison complètement électrique. Dans ce cas, l'indicateur choisi est l'électricité échangée aux frontières du site, en kWh, et il est mesuré grâce aux compteurs d'électricité.

De plus, il est possible de pondérer les kWh de différentes manières. Par exemple, ceux qui sont exportés peuvent avoir plus de poids que ceux qui sont importés. La pondération est utilisée pour différentes raisons : privilégier l'énergie renouvelable, encourager la production d'électricité ou inciter les consommateurs à injecter de l'électricité dans le réseau lors des pointes (Voss et autres, 2012).

Cette approche permet aux occupants d'atteindre une BZE plus facilement.

3.2.1.3. Types d'équilibre

Le graphique de la figure présente les différents types d'équilibre.

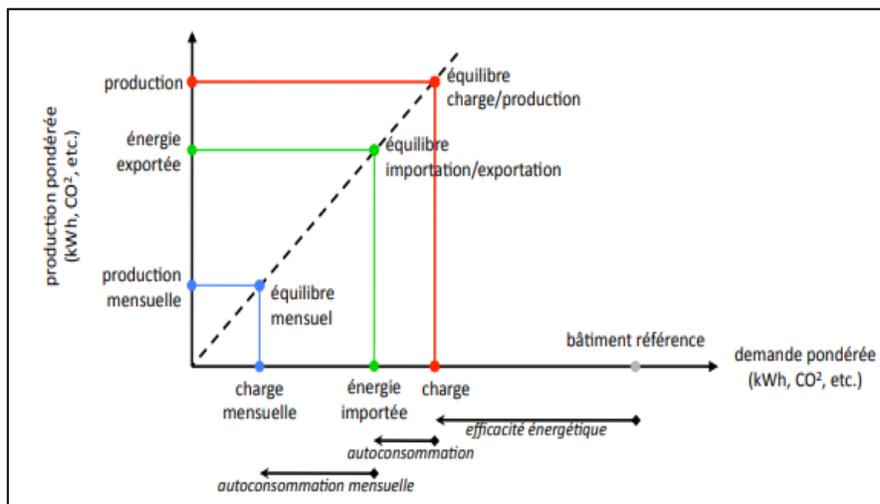


Figure 3-2 : Type d'équilibre d'un bâtiment à ZEB.

Source : Sartori et autres, (2012).

➤ **La ligne rouge :** montre la relation d'équilibre entre la charge du bâtiment, (l'énergie nécessaire), et la quantité d'énergie produite par le bâtiment, soit le bilan charge/production. Une part de l'énergie générée sur le site est consommée par le bâtiment lui-même.

➤ **La ligne verte** : représente l'équilibre entre l'énergie importée et exportée, Ce type de bilan est plus simple à réaliser en utilisant des compteurs aux frontières du site durant la phase d'utilisation et fournit de l'information sur les interactions avec le réseau.

➤ **La ligne bleu** : représente le cas d'un bilan mensuel, les équilibres de charge/production ou d'énergie importée/exportée, sont également possibles. Ce type de bilan a comme avantage de suivre de plus près les besoins du réseau par rapport au moment de production. À la fin de l'année, les mois sont additionnés pour déterminer si la maison a atteint la BZE (Sartori et autres, 2012).

➤ **La ligne pointillée** : représente les maisons à BZE, les maisons dont l'état se trouve au-dessus de cette ligne sont à consommation nette positive, car elles produisent plus d'énergie que leur consommation dans l'année (Voss et autres, 2012). Les maisons dont le bilan est négatif se situent sous la ligne. Celles dont le bilan s'y approche peuvent être appelées à consommation nette quasi nulle ou à très faible consommation (Ayoub, 2008).

3.2.2. La norme Zéro énergie (BZE)

La norme « zéro énergie », est le ratio consommation/production issue du calcul annuel des énergies consommée et produit. (Bone structure,2015).

La norme énergétique se durcira chaque année jusqu'à 2021, date à laquelle une maison zéro énergie (BZE) devra remplir plusieurs conditions :

- Niveau E égal ou inférieur à E45. Moins vous consommez d'énergie, plus le score diminue.
- Niveau K égal ou inférieur à K35. Plus vous isolez, plus le score diminue.
- Niveau E spec inférieur ou égal à 85 kWh/m²/an.
- Respect des exigences PEB en termes :
 - D'isolation thermique ;
 - De risque de surchauffe (< 6 500 kh) ;
 - De ventilation ;
 - De part minimale d'énergie renouvelable. (Livios,2016)

❖ Le certificat PEB (Performance énergétique des bâtiments)

À partir du 1er janvier 2017, les exigences PEB (Performance énergétique des bâtiments) vont encore se renforcer pour atteindre, en 2021, le standard de bâtiment à consommation quasi nulle. Pour les bâtiments publics, cette exigence prendra cours à partir du 1er janvier 2019 (Annick, 2016).

3.2.3. Conception du bâtiment à zéro consommation d'énergie

La méthode de conception générale d'une maison à BZE ainsi que les principales technologies permettant d'améliorer la gestion du réseau électrique est expliquées et analysées comme suit :

➤ Conception passive

-La conception de maisons passives se base sur des techniques qui exploitent de façon optimale de l'énergie solaire sans utilisation de système mécanique afin de fournir une partie du chauffage d'un bâtiment. Elle est efficace, pratique et peu dispendieuse.

-Mettre en valeur L'orientation et l'emplacement, car ils influenceront l'énergie solaire qu'il sera possible d'utiliser pour combler les besoins en chauffage et en éclairage.

- Les rayons du soleil doivent aussi frapper directement la masse. Une réduction entre 2 à 7 % de l'énergie pour le chauffage des pièces serait alors possible. (Proskiw, 2010).

- Réduire la pointe d'hiver le soir en libérant sa chaleur, ce qui augmente son intérêt. (Candanedo et Athienitis, 2009-2011).

- L'emplacement des fenêtres permettent aussi d'utiliser la lumière naturelle et de réduire la consommation d'énergie reliée à l'éclairage artificiel. (Doiron et autres, 2011).

- Le bon positionnement de fenêtres ouvrantes sert en plus à favoriser la ventilation naturelle (SCHL, 2009).

- Pour éviter les surchauffes l'été ou réduire le besoin de climatisation, il est nécessaire de prévoir un équipement ou un système qui réduit le rayonnement du soleil dans la maison. (SCHL, 2012).

- Concernant l'enveloppe du bâtiment, une des façons les plus rentables pour améliorer l'efficacité énergétique d'une maison est d'augmenter l'étanchéité de l'enveloppe.

➤ Stockage d'énergie dans un bâtiment à zéro énergie (BZE)

Le stockage d'énergie thermique fait partie des outils prometteurs pour les maisons à BZE. Il s'agit de chauffer une matière, généralement un liquide comme de l'eau, et de la stocker dans un réservoir de grand volume. Tout comme la masse thermique, son avantage le plus intéressant est d'emmagasiner de l'énergie solaire durant le jour pour le distribuer plus tard, lors des pointes et même durant la nuit. Couplé à des équipements de contrôle, il peut donc être utile pour mieux gérer la pointe (Candanedo et Athienitis, 2009).

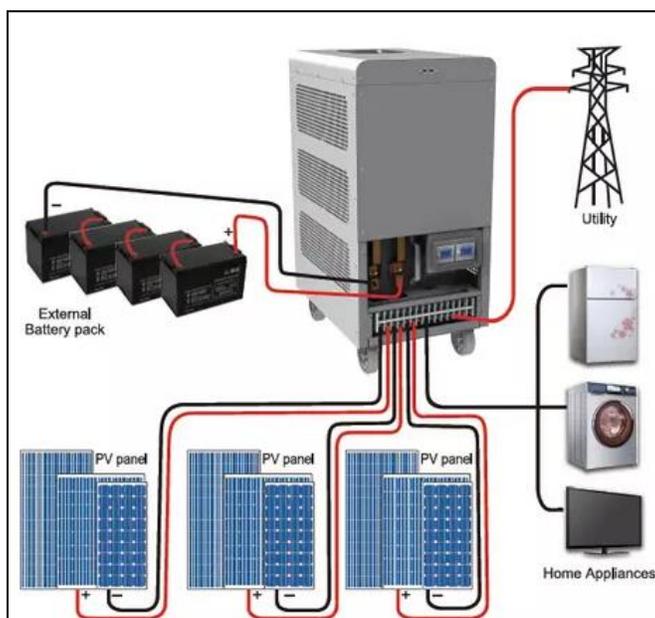


Figure 3-3 : Schéma de principe d'une installation de stockage.

Source : <http://www.lesoperasdebacchus.fr/isolation-thermique-mur-9256/>, (2017)

➤ Systèmes actifs

Pour atteindre une maison à ZEB, la conception passive ne suffit pas. Les charges doivent aussi être réduites et c'est pour cette raison qu'il est nécessaire que les appareils consommant de l'énergie soient efficaces, et complétés par un système de captage (capteur thermique et photovoltaïques).

➤ Contrôle et surveillance

L'installation d'un système de contrôle et de surveillance s'avère un choix incontournable pour optimiser les technologies mises en place dans une maison à ZEB.

-Ce système peut commander plusieurs équipements d'une maison comme le ventilateur récupérateur de chaleur (VRC), des ventilateurs reliés au système de chauffage actif, des thermopompes...etc. (SCHL, 2011).

-Le système de surveillance permet également de déceler quelles sont les consommations d'énergie maximales ou anormales. (SCHL, 2011).

3.3. Les outils et les techniques de ZEB

3.3.1. Enveloppe

L'analyse des études sur l'utilisation rationnelle de l'énergie dans le bâtiment montre la tendance à réduire les besoins en chaud et en froid à travers une optimisation de l'enveloppe.

• **Étanchéité à l'air** : un effort tout particulier est porté sur l'étanchéité à l'air, afin d'éviter les pertes de chaleur dues aux infiltrations d'air (CHLELA, 2008).

• **Parois transparentes** : Afin de réduire les besoins de chauffage, les performances thermiques des parois transparentes doivent être améliorées. Les innovations technologiques récentes ont permis de faire des progrès (CHLELA, 2008).

• **Façade double peau** : une façade double peau est constituée de deux vitres séparées par une cavité d'air. En général, la vitre intérieure est un double vitrage, et la vitre extérieure est un simple vitrage. La convection dans la cavité d'air peut être soit naturelle (tirage thermique), soit forcée (ventilation mécanique), soit hybride (naturelle + forcée) (CHLELA, 2008).

• **Protection solaire** : Afin de réduire les apports solaires en période estivale, une protection solaire (store, brise-soleil ...) doit être associée à toutes les fenêtres (CHLELA, 2008).

• **Inertie thermique** : La plupart des bâtiments modernes présentent souvent des structures légères avec une faible inertie thermique et des enveloppes parfois sur-vitrées qui engendrent des apports solaires trop importants (CHLELA, 2008).

• **Isolation** : L'objectif étant de se passer d'un système conventionnel de chauffage, l'isolation devra être extrêmement efficace.

-Les matériaux isolants

En thermique, un isolant thermique est un matériau ayant une faible conductivité thermique. Les principaux matériaux d'isolation disponibles actuellement classes en 3 grandes familles selon l'origine de leur matière première :

-**Les matériaux bio-sourcés** : Constitues principalement de fibres végétales ou animales. Leur matière première est donc largement issue de ressources renouvelables parmi ces matériaux : Fibres de bois, La laine de mouton, Le chanvre, panneaux de paille, la ouate de cellulose Liège, et cellulose. (Guide technique, 2019)

-**Les matériaux minéraux** : Les isolants minéraux sont d'origine naturelle. Ce sont les plus couramment employés dans le bâtiment. Ils comprennent les laines de roche ou de verre, le verre cellulaire, la perlite, la vermiculite et l'argile expansée...

-**Les matériaux synthétiques** : Ce sont des matériaux de synthèse produit par la chimie industrielle (fabriqués de manière synthétique), tel que : Le polystyrène expansé PSE, Polystyrène extrudé (XPS) et la mousse resol. (Gallauziaux Thierry, 2010)

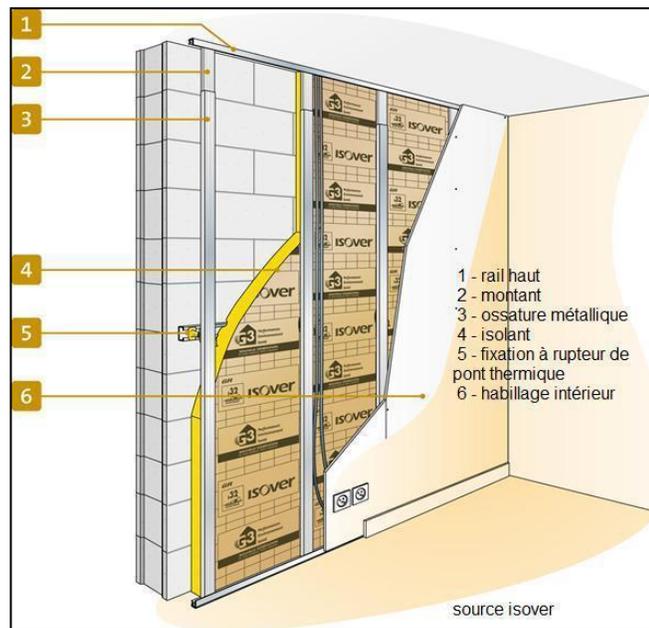


Figure 3-4 : Schéma d'isolation thermique extérieure.

Source : <http://www.lesoperasdebacchus.fr/isolation-thermique-mur-9256/>,(2017)

3.3.2. Ventilation

La maison devra être équipée d'une ventilation mécanique (VMC) assurant la gestion de l'air de la partie habitable. Deux types de VMC pourront être le plus couramment proposés : La VMC hydro réglable B microwatt, c'est-à-dire munie d'un système possédant des entrées d'air et des bouches d'extraction auto réglable, donc limitant les pertes de chaleur. La VMC double flux permettant de souffler mécaniquement l'air neuf (CHLELA, 2008).

3.3.3. Chaudière à condensation

La technique des chaudières à condensation consiste à récupérer la chaleur de vaporisation des fumées en les refroidissant au contact des parois froides d'un échangeur (CHLELA, 2008).

3.3.4. Pompe à chaleur

La pompe à chaleur (PAC) est une technologie qui permet de puiser de l'énergie dans le milieu ambiant (l'eau, l'air, le sol, ...), pour la restituer au bâtiment pour le chauffage et/ou le refroidissement. L'efficacité d'une pompe à chaleur est donnée par son coefficient de performance (COP pour le mode chaud et EER pour le mode froid), qui traduit le rapport entre la quantité d'énergie utilisée pour la faire fonctionner et la quantité d'énergie qu'elle délivre. Les principaux types de PAC sont :

- Pompe à chaleur prélevant de l'énergie sur l'air extérieur.
- Pompe à chaleur prélevant de l'énergie dans le sol.
- Pompe à chaleur prélevant de l'énergie sur l'eau. (CHLELA, 2008).

3.3.6. Systèmes solaires

Le soleil constitue la principale et la plus disponible source d'énergie renouvelable. A côté de l'architecture solaire et/ou bioclimatique qui est l'un des piliers des bâtiments à basse consommation, une utilisation plus active de l'énergie solaire s'est développée pour la production de l'ECS et le chauffage (Chauffe-Eau Solaire Individuel et Système Solaire Combiné), et pour la production de l'électricité grâce aux cellules photovoltaïques (CHLELA, 2008).

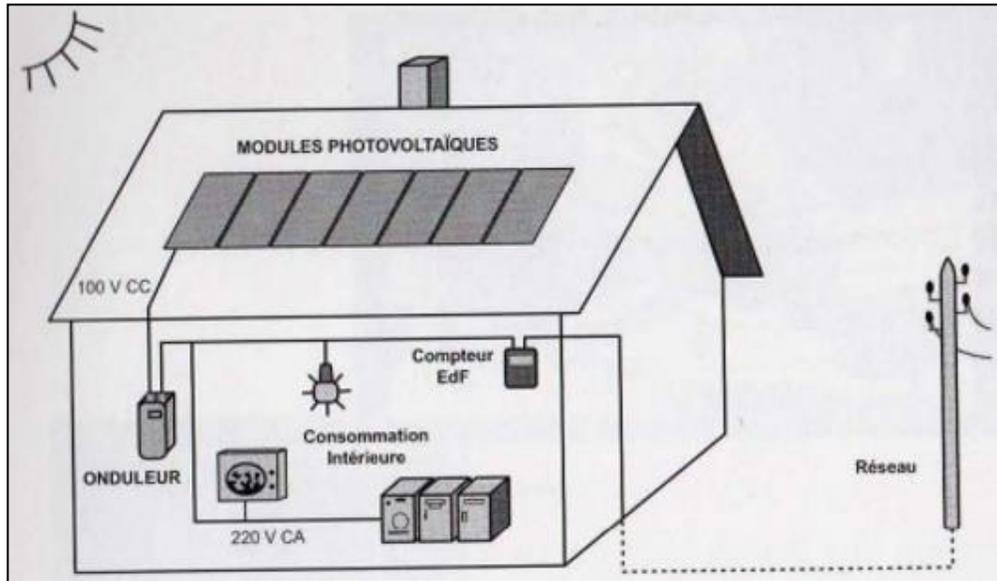


Figure 3-5 : Exemple d'installation photovoltaïque.
Source : maison à zéro énergie, (2007)

3.4. Analyse d'un exemple : Le projet de rénovation Solar-2002

3.4.1. Présentation

Type de Projet	Maison individuelle Solar 2002
Situation	En Belgique- à Berlaar
Date de réalisation	2002
Forme	Rectangle (12m ,8m)
Nombres d'étage	R+1



Figure 3-6: Le projet Solar 2002.
Source : Attia, (2010)

Tableau 3-1: fiche technique de la maison Solar 2002..
Source : Attia, (2010)

3.4.2. Le concept de la maison

Une maison individuelle de deux étages : rez-de-chaussée de 100 m², réduit à 90m² au premier étage.



Figure 3-7 : plan du rez-de -chaussée et du premier étage.

Source : Attia, (2010).

- La façade sud a le plus d'ouvertures ce qui permet un chauffage solaire passif.
- L'enveloppe du bâtiment suit les principes de la maison passive.
- La composition des parois est constituée de maçonnerie de briques, d'un vide, de panneaux de particules, de 11 centimètres de laine minérale et de gypse.
- Le toit est un panneau de fibres de bois bitumé avec 23 cm d'isolation en cellulose, d'un creux et de gypse.
- Les caractéristiques du bâtiment ont été établies sur les principes de base de l'architecture bioclimatique : profiter des ressources naturelles (soleil, pluie, etc.).
- La maison atteint un bilan énergétique et de carbone neutre.

Le processus de rénovation est basé sur une isolation par l'intérieur. L'étanchéité à l'air. Un système de ventilation avec récupération de chaleur a été installé.

3.4.3. Caractéristiques de la construction

Description du bâtiment	Solar 2002	Description du bâtiment	Solar 2002
Volume chauffé	390 m ³	Ensoleillement moyen (H)	2,55 kWh/m ² .jour
Fonction de vitrage	S : 21% ; E : 4% ; O : 11% ; N 4%		
U des fenêtres	0.5 W/m ² K(DG)	Inclinaison	60°
U des murs extérieurs	0.10-0.35 W/m ² K	Surface de l'inclinaison	36m ²
U des toitures	0.16 W/m ² K	Inclinaison PV/Th	30°
U des sols	0.25 W/m ² K	Surface PWTh	36m ²

Tableau 3-2 : Caractéristiques de la construction de la maison Solar 2002.

Source : Attia, (2010).

❖ Matériaux utilisés :

Avant rénovation	Après rénovation
<ul style="list-style-type: none"> - Laine minérale et de gypse de 11 cm. - Le brique - Bois bitumé - L'isolation en cellulose de 23cm 	<ul style="list-style-type: none"> -Des matériaux écologiques à faible énergie grise. - Les matériaux utilisés sont biodégradables et peuvent être facilement produit par la nature. Le cycle de vie des matériaux a été calculé pour 100 années.

Tableau 3-3 : Les matériaux utilisés dans la maison Solar 2002.

Source : Attia, (2010).

3.4.4. Les techniques de la maison SOLAR 2002

➤ Les pentes du toit sont largement utilisées pour la production hybride (énergie thermique et d'électrique).

➤ Pour le chauffage de l'espace, deux systèmes alimentent un réservoir central de stockage thermique de 850 litres : premièrement, 36 m² de panneaux solaires thermique (TSAC) et d'autre part une pompe à chaleur géothermique eau-eau. (Figure ci-dessous).

➤ Pour l'eau chaude sanitaire (ECS), un panneau solaire thermique de 2m² alimente un boiler de 150 litres.

➤ Pour la production d'électricité, un système PV/thermique de 36 m² produit une puissance maximale de 5kW. (Figure ci-dessous).

➤ La maison possède deux cycles de l'eau. Le premier cycle de l'eau récupère les eaux du toit dans un réservoir d'eau central. Le second cycle de l'eau traite les eaux usées.

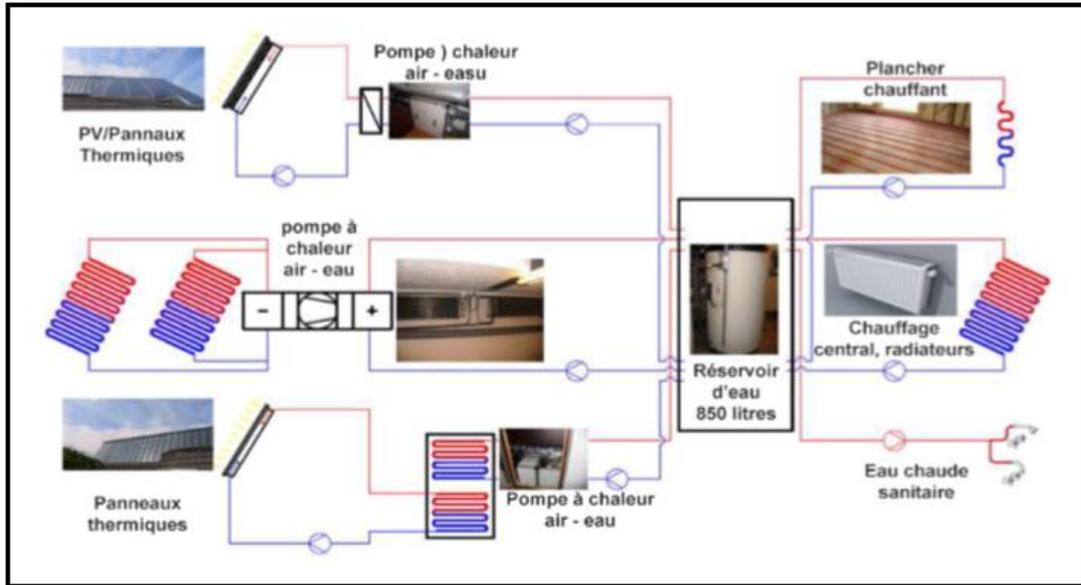


Figure 3-8 : Schéma pour les installations du système actif.
Source : Attia, (2010).

3.4.5. La consommation énergétique de la maison Solar 2002

Les consommations énergétiques de la maison Solar-2002 ont pu être analysées grâce à un système de monitoring.

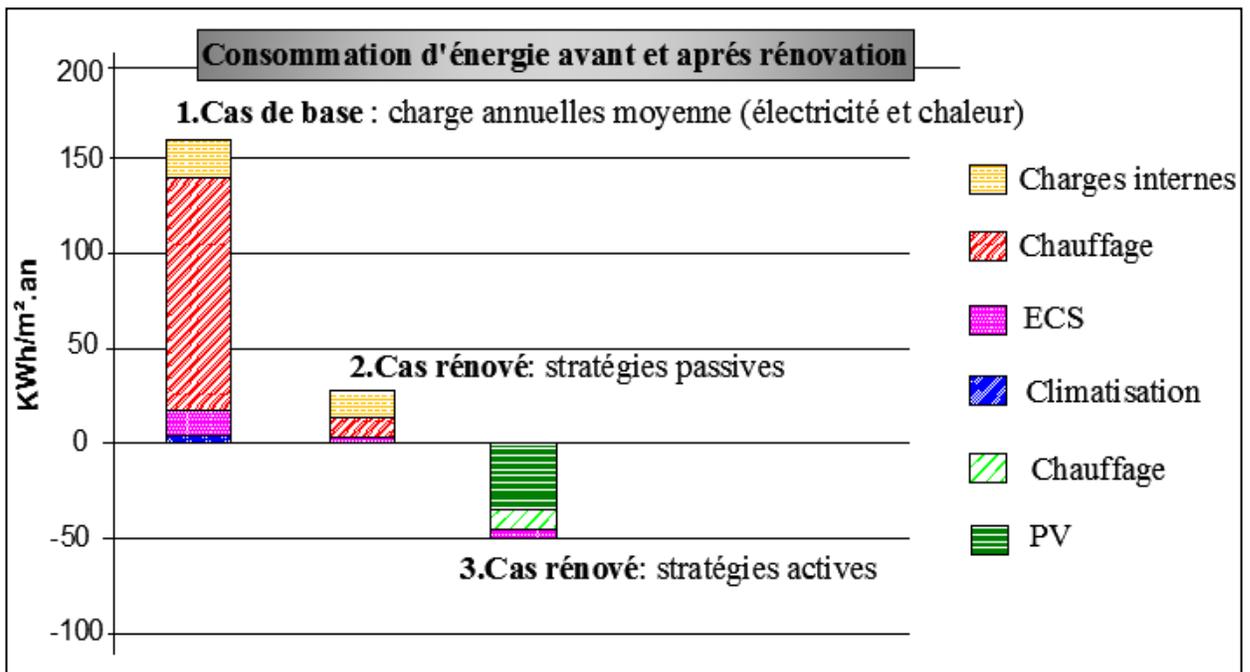


Figure 3-9 : Consommations énergétiques avant et après rénovation.
Source : Attia, (2010).

La Figure 3-26 montre les résultats obtenus pour la maison Solar-2002, la consommation énergétique des charges annuelles (électricité et chaleur) dans le cas de base. On remarque une forte utilisation de chauffage (120Kwh/m².an), Charges internes, Eau chaude sanitaire et de climatisation, dans le premier cas et après l'application des stratégies passive la consommation énergétique à diminuée presque zéro et la climatisation a été assuré naturellement après l'ajoute de stratégie active, on remarque que les énergies produit par les panneaux photovoltaïques a été remplir la demande énergétique de la maison : chauffage et ECS.

Conclusion

Il est important d'étudier de manière approfondie le lieu d'implantation, et de faire les bons choix tant de conception que de matériaux pour la possibilité de concevoir puis construire un bâtiment autonome en énergie.

Afin de participer à l'effort contre les changements climatiques et assurer une meilleure sécurité énergétique, les nouveaux bâtiments à consommation énergétique zéro parmi les solutions pour L'amélioration de l'efficacité énergétique d'un bâtiment. Ils nécessitent de réaliser durant la phase conception du projet, de mettre en évidence les solutions optimales permettant d'atteindre les objectifs visés en termes de performances énergétiques et de confort hygrothermique.

Présentation de cas d'étude

4.1. Introduction

La simulation thermique est une étape importante pour réussir des bâtiments économes et confortables, aussi bien dans la construction que dans la rénovation. Elle permet de déterminer les solutions techniques optimisant les conditions de confort hygrothermique et les performances énergétiques dans les établissements d'enseignement supérieur.

Dans ce chapitre nous allons aborder notre cas d'étude faite en deux parties dont la première est l'utilisation de logiciel ECOTECT 2011, la deuxième est une procédure de calculs effectuée en appliquant des relations théoriques. Ses deux parties ont pour objectif de trouver l'impact de l'isolant, et les matériaux de construction le confort hygrothermique à l'intérieur de l'espace, afin de réduire la consommation énergétique et atteindre un bâtiment à zéro énergie (BZE).

4.2. Objectif de l'étude

L'objectif de l'étude consiste de vérifier :

- L'impact des matériaux de construction, et le type d'isolation, sur le confort hygrothermique à l'intérieur des classes.
- L'effet de la température intérieure et le taux d'humidité dans un établissement d'enseignement supérieur.
- Vérification de l'existence de la condensation superficielle et la condensation dans la masse.
- Rôle de confort hygrothermique dans l'aboutissement de zéro consommation énergétique d'un bâtiment.

4.3. Motivation choix du cas d'étude

Pour vérifier nos hypothèses de recherche, nous avons pris comme cas d'étude l'atelier 28 situé au bloc 04 à l'université Mohammed Seddik Benyahia à Jijel » pour les raisons suivantes :

- Elle est implantée dans un climat méditerranéen, pluvieux, froid en hiver, chaud et humide en été.
- La sensation de l'inconfort dans les ateliers et les classes pendant nos années d'étude.
- L'établissement est mal isolé et construit avec des matériaux traditionnels.
- La forte utilisation de chauffage et d'électricité dans le bloc occasionne une consommation énergétique excessive.

➤ La Fiche du bloc 4

- ✓ **Projet** : Bloc 4 département d'architecture.
- ✓ **Surface** : 1555.13m².
- ✓ **Situation** : Université Mohammed Seddik Benyahia à la cité OuledAissa, au Sud-Est de la ville de Jijel, Algérie.
- ✓ **B.E.T**:chouiki.
- ✓ **Année** : 2004.



Photo4-1 : Bloc4 université de Jijel.

Source : Auteur

4.4. Le site

La ville de Jijel s'étalant sur une superficie de 2.396,63 km², elle est située au nord-est de l'Algérie, entre les méridiens 5°25 et 6°30 est de Greenwich, et entre les parallèles 36°10 et 36°50, hémisphère nord. La wilaya de Jijel est limitée au nord par la mer méditerranée, au sud par la commune de Kaous, à l'est par la commune l'Emir Abdelkader et à l'ouest par la commune d'El Aouana.(Wilaya-jijel.dz, 2015)



Figure 4-1 : Localisation géographique de Jijel.

Source : <http://tassoust.blogspot.com/2006/06/situation-gographique-de-tassoust.html>, (2006)

4.5. Présentation du cas d'étude

Le bloc 04 se caractérise par une forme de base rectangulaire. Il contient une administration, des ateliers et des salles répartis sur trois étages.



Figure 4-2 : Plan de masse du bloc 4
Source : BET CHOUIKI, (2018)

4.6. Présentation de l'espace simulé

L'espace simulé dans Notre étude est l'atelier 28 situé au dernier étage de dimensions 9.10×8.70×3.72 m, il comporte deux murs extérieurs, deux murs intérieurs.

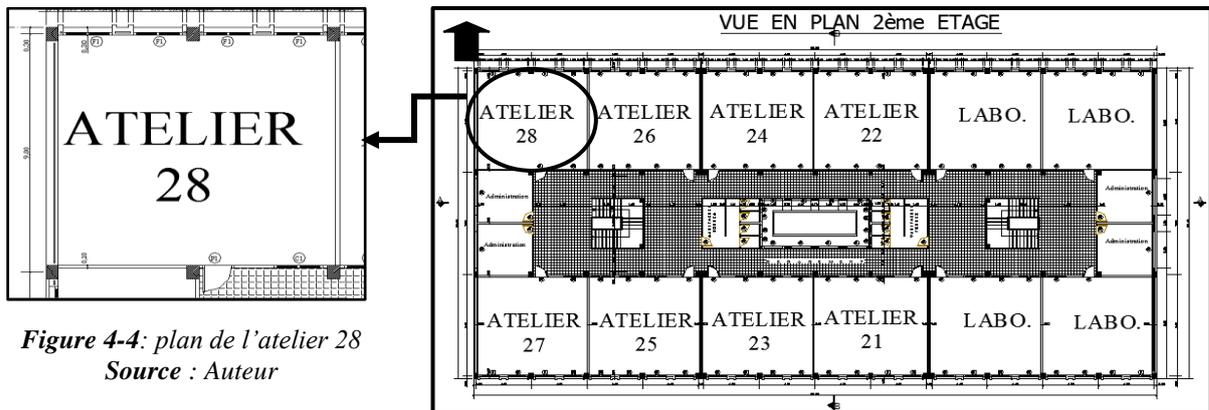


Figure 4-4: plan de l'atelier 28
Source : Auteur

Figure 4-3: plan de 2ème étage du bloc 4
Source : Auteur



Photo 4-2 : façade sudde bloc 4.
Source : Auteur



Photo 4-3 : façade nord -ouest de bloc 4.
Source : Auteur

4.7. Le climat

A partir des données météorologiques de la wilaya de Jijel enregistrées au niveau de la station météo Jijel- Achouat, les caractéristiques du climat sont illustrées ci-dessus :

4.7.1. La pluviométrie :

La période pluvieuse dure du mois d'octobre jusqu'au mois de février, les mois les plus pluvieux sont Novembre, Décembre Janvier ; ce qui confirme que cette région est soumise au climat pluvieux et froid en hiver et chaud en été.

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
P /mm	281	54.8	1.8	53.6	2.0	38.2	0.0	0.2	34.8	59.8	210	231

Tableau 4-1 : Précipitation moyennes mensuelles –période 2008-2017

Source : station météo –aéroport Ferhat Abbas –Jijel.

4.7.2. La température

La période chaude commence à partir du mois de Mai jusqu'au mois d'Octobre avec un maximum marqué durant le mois d'Aout (27.9 °C). La période qui s'étale du mois de Novembre au mois d'Avril correspond à la période relativement froide avec un minimum durant le mois de Janvier (10.9°C).

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
C°	10.9	13.7	14.8	16.3	20.3	24.9	27.0	27.9	23.5	19.7	15.0	12.0

Tableau 4-2 : Température moyennes mensuelles –période 2008-2017

Source : station météo –aéroport Ferhat Abbas –Jijel

4.7.3. Les vents dominants

La région de Jijel est généralement traversée par des vents du nord-ouest et nord-est fréquents du mois d'octobre au mois d'avril, chargés d'humidité, par contre les vents sud sont très rares et ne fréquentent la région qu'en été et particulièrement au mois de juillet et d'août.

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
m/s	3.5	3.0	2.6	2.6	2.5	2.6	2.4	2.5	2.5	2.04	3.1	2.8

Tableau 4-3 : Vent moyennes mensuelles –période 2008-2017

Source : station météo –aéroport Ferhat Abbas –Jijel.

4.7.4. L'humidité :

Les valeurs moyennes d'humidité sont en général très élevées toute l'année et leurs amplitudes saisonnières sont relativement faibles, son minimum est de 68,9% observé en mois de Septembre et son maximum est de 79.1% en mois de décembre.

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
%	74.8	74.1	73.6	74.0	73.1	72.8	69.4	69.6	68.9	75.2	76.1	79.1

Tableau4-4: Humidité moyennes mensuelles –période 2008-2017

Source : station météo –aéroport Ferhat Abbas –Jijel

4.8. Présentation des phases de l'étude

4.8.1. Simulation

La simulation est un outil utilisé par le chercheur pour étudier les résultats d'une action sur un élément sans réaliser l'expérience sur l'élément réel. La simulation numérique est une série de calculs effectués sur un ordinateur et reproduisant un phénomène physique. Elle aboutit à la description du résultat de ce phénomène, comme s'il s'était réellement déroulé. Dans notre cas d'étude nous avons utilisé le logiciel ECOTETCT 5.50v analyses 2011 ainsi que le logiciel METEONORM7, pouvant réagir à des modifications de paramètres et modifier ses résultats en conséquence.

4.8.1.1. Objectif de la simulation

L'idée principale de notre simulation est de faire une étude paramétrique des éléments de la construction pour le confort hygrothermique à l'intérieur de l'atelier28. Assurer une ambiance intérieure confortable et idéale pour les occupants en ayant une consommation énergétique nulle, s'avère au début un résultat impossible à atteindre, par contre le label BZE est considéré un ordre de grandeur qui permet de prévoir et de vérifier les résultat de calcul obtenus par simulation numérique. De ce fait il est toujours bon de s'assurer que l'ordre de grandeur du résultat est cohérent quelle que soit l'opération que l'on a à effectuer, en faisant une étude qualitative et quantitative des paramètres affectant le confort hygrothermique.

4.8.1.2. Etapes de la simulation

Pour étudier le confort hygrothermique et le bilan énergétique de l'atelier 28, il est nécessaire de suivre plusieurs étapes selon deux cas :

- Le premier scénario concerne le cas existant : une simulation du cas de base qui permet d'étudier le confort hygrothermique et de calculer la consommation énergétique avant l'application des nouveaux matériaux de construction.
- Le deuxième scénario concerne la simulation du cas d'étude après l'application de nouveaux matériaux de construction y compris l'isolation thermique.
- Enfin, faire une comparaison entre les différents résultats.

Etapes	Explication
Importation des plans	Les plans du bloc 04 sont dessinés à l'aide de logiciel AUTOCAD, et importés vers ECOTECT sous format DXF.
Modélisation du bâtiment	La modélisation en ECOTECT obéit à la logique des zones thermiques telles que chaque zone a ses propres caractéristiques (température, humidité, la vitesse d'air, taux d'occupation, présence d'appareils de climatisation...) et composée de partitions (murs, fenêtres, planchers.) et pour chaque partition un matériau doit être affecté dans la bibliothèque des matériaux assez riche et personnalisable est intégrée dans le logiciel).
Le déroulement de la simulation.	L'évaluation de la consommation énergétique par le choix : <ul style="list-style-type: none"> ❖ Des matériaux. ❖ Le type d'isolation. ❖ Le type de vitrage. ❖ L'installation du capteur solaire thermique
Analyse des données et interprétation des résultats finaux.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Discussion des résultats initiaux du cas de base. 2. Discussion des résultats après rénovation afin de déduire leur influence sur le comportement énergétique. Cela permettra de choisir les solutions les plus efficaces et déduire enfin les valeurs optimales assurant un compromis entre tous les paramètres

Tableau 4-5: description de la méthodologie suivie dans la simulation par ECOTECT

Source : Auteur

4.8.2. Déroulement des calculs

Elle concerne des calculs pour vérifier le phénomène de la condensation.

➤ **Caractéristiques thermophysiques des matériaux :**

Les tableaux ci-dessous représentent les matériaux utilisés dans le cas d'étude avant et après rénovation :

➤ Avant rénovation :

Murs	Matériau	Epaisseur (m)	Densité (Kg/m ³)	Chaleur spécifique (J/Kg. k)	Conductivité thermique (W/m. K)
Mûr extérieur	Enduit de ciment	0.02	1900	864	0.8
	Brique extérieur en terre cuite	0.15	650	900	0.4
	Lame d'air	0.05	1	1000	0.28
	Brique intérieur en terre cuite	0.10	650	900	0.4
	Enduit de plâtre intérieur	0.02	1150	1008	0.57
	Enduit de ciment	0.02	1900	864	0.8
Mûr intérieur	Brique intérieur en terre cuite	0.10	650	900	0.4
	Enduit de plâtre intérieur	0.02	1150	1008	0.57
	Enduit de ciment	0.02	1900	864	0.8
Dalle extérieur	Couche de protection (Gravier)	0.05	1950	1008	2
	Multicouches bitume (Feutre)	0.036	715	1500	4
	Isolant (polystyrène expansé)	0.04	18	1450	0.039
	Ecran par-vapeur	0.0035	130	2300	2.3
	Dalle pleine en béton	0.04	2300	1008	1.8
	Corps-creux (parpaing de ciment)	0.16	950	1080	0.9
	Enduit de plâtre	0.02	1150	1008	0.57
Vitrage	Verre standard (Simple vitrage)	0.004	2300	836	1.046

Tableau4-6 : Constitutions et caractéristiques thermo-physique des parois de l'Atelier 28 avant rénovation
Source : Auteur

➤ **Après rénovation :**

	Matériau	Epaisseur (m)	Densité (Kg/m³)	Chaleur spécifique (J/Kg. k)	Conductivité thermique (W/m. K)
Mûr extérieur	Enduits chanvre-Chau + B4	0.02	700	450	0.18
	Briques auto-isolante	0.15	700	280	0.12
	Laine de mouton	0.10	35	1400	0.035
	Briques auto-isolante	0.10	700	280	0.12
	Enduits chanvre-chau + B4	0.02	700	450	0.18
	Enduit de plâtre intérieur	0.02	1150	1008	0.57
Mûr intérieur	Briques auto-isolante	0.10	700	280	0.12
	Enduits chanvre-Chau + B4	0.02	700	450	0.18
	Enduit de plâtre intérieur	0.02	1150	1008	0.57
Dalle extérieur	Couche de protection (Gravier)	0.05	1950	1008	2
	Multicouches bitume (Feutre)	0.036	715	1500	4
	Laine de mouton	0.10	35	1400	0.035
	Ecran par-vapeur	0.0035	130	2300	2.3
	Dalle pleine en béton	0.04	2300	1008	1.8
	Corps-creux (parpaing de ciment)	0.16	950	1080	0.9
	Enduit de plâtre	0.02	1150	1008	0.57
Plancher	Dalle en béton armé	0.15	2300	1008	1.8
	Chape de chanvre	0.05	250	580	0.09
	Revêtement en carrelage	0.02	2600	1000	2.8
Vitrage	Verre (double vitrage)	0.14	2300	836	1.046

Tableau4-7 : Constitutions et caractéristiques thermo-physique des parois de l'Atelier 28 après rénovation

Source : Auteurs

Conclusion

L'enveloppe du bâtiment représente souvent la frontière entre l'intérieur et l'extérieur d'une construction. A ce titre, elle doit protéger, assurer l'étanchéité et l'isolation mais également permettre une bonne régulation de la circulation de l'air et de la lumière. Avec l'essor des préoccupations environnementales, l'enveloppe du bâtiment doit participer à la régulation de la consommation énergétique de l'ouvrage. De ce fait l'étude est accentuée par l'analyse de la température et l'humidité relative de l'air, à partir de cela, Il s'agit d'une part, de caractériser la manifestation climatique, et d'autre part d'améliorer le comportement hygrothermique de l'enveloppe du bâtiment. Était notre deuxième phase d'étude.

Interprétation des résultats et recommandations

5.1. Introduction

Le présent chapitre est structuré de deux parties, la première partie concerne les résultats d'une simulation par logiciel ECOTECH de l'atelier 28(cas existant et rénové) afin de déterminer le taux de confort dans l'espace considéré après le changement des matériaux de construction et l'introduction de l'isolant. La deuxième partie consiste à évaluer les flux thermiques à travers les parois et à utiliser la méthode de Glaser pour vérifier la condensation superficielle et dans les couches de la paroi en fonction de la température et l'humidité relative de l'air ambiant intérieur et extérieur, et la consommation énergétique. Ce travail a pour objectif de trouver l'impact de l'utilisation des nouveaux matériaux de construction et de l'isolant (la laine de mouton) sur la transmission de chaleur et la vapeur d'eau à travers l'enveloppe du bâtiment puis le traitement de la surconsommation énergétique afin d'atteindre une consommation énergétique zéro.

5.2. Paramètres de simulation

5.2.1. Paramètres fixes

L'atelier 28choisie est située au deuxième étage du bloc 04 orienté vers le nord –est.

Paramètre	Descriptif	Paramètre	Descriptif
Type de bâtiment	Educatif/Université	Capacité de l'atelier	20 étudiants
Hauteur d'étage	3.72m	Surface	79.17m ²
Zone d'étude choisie	Ateliers 28	Jour de simulation	Le 10 Janvier

Tableau 5-1 : caractéristique de l'atelier 28.

Source : Auteur

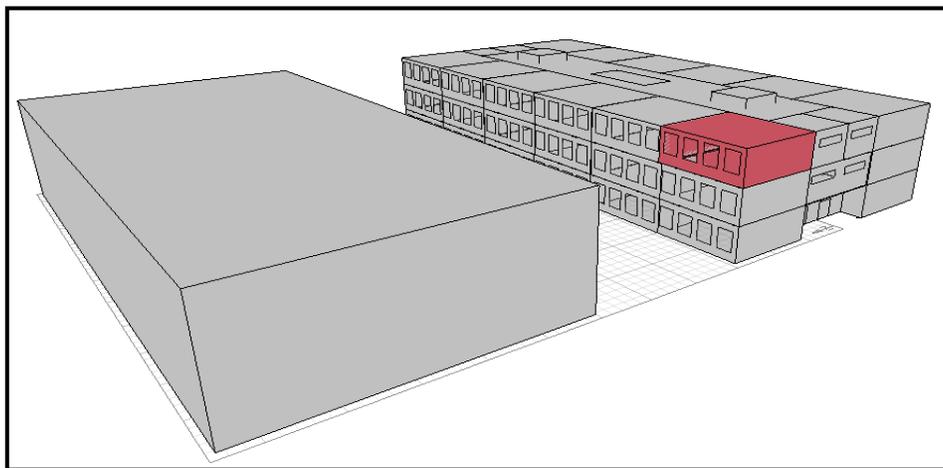


Figure5-1 : perspective Nord-Ouest du bloc 4 modelé sur ECOTECH

Source : Auteur

5.2.2. Paramètres variables

Les propriétés thermophysiques des matériaux de construction ainsi que celles de matériau d'isolation.

5.3. Présentation des scénarios

5.3.1. Le premier scénario : (en fonction des matériaux existants), cette étape consiste à régler le logiciel ECOTECT avec les données caractéristiques du cas de base (le cas initial) et les données météorologiques de JJEL, ainsi que l'affectation des matériaux après nous avons faits les calculs pendant la journée du 10 janvier 2019.

- **La dalle extérieure :** composée de sept couches avec une épaisseur totale de 35 cm.

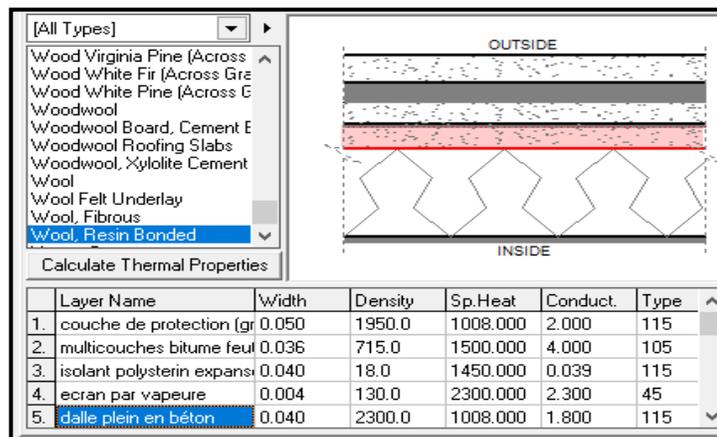


Figure5-2 : Composition de la dalle extérieure.
Source : Auteur

- **Mur extérieur :** composé de six couches avec une épaisseur totale de 36 cm.

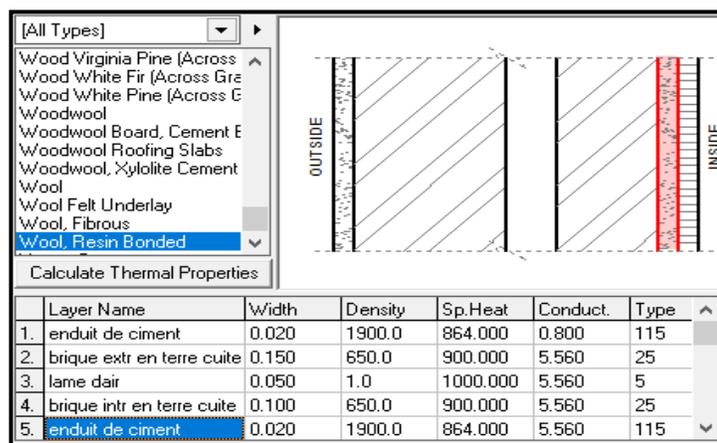


Figure5-3 : Composition de mur extérieure.
Source : Auteur

- **Plancher** : il contient trois couches avec une épaisseur totale de 22 cm.

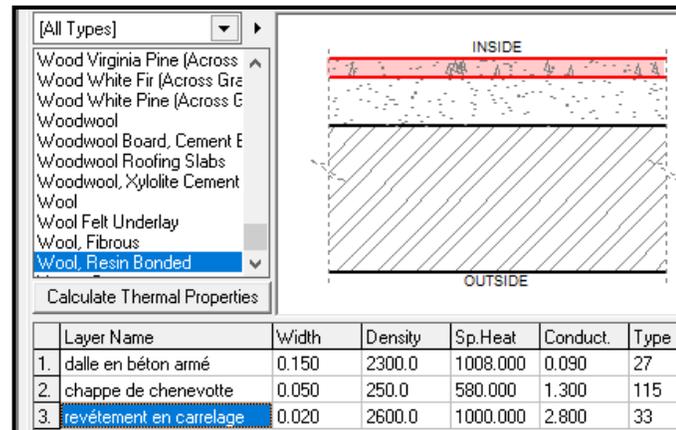


Figure5-4 : Composition de plancher.

Source : Auteur

- **Mur intérieur** : composé de trois couches avec une épaisseur totale de 14 cm.

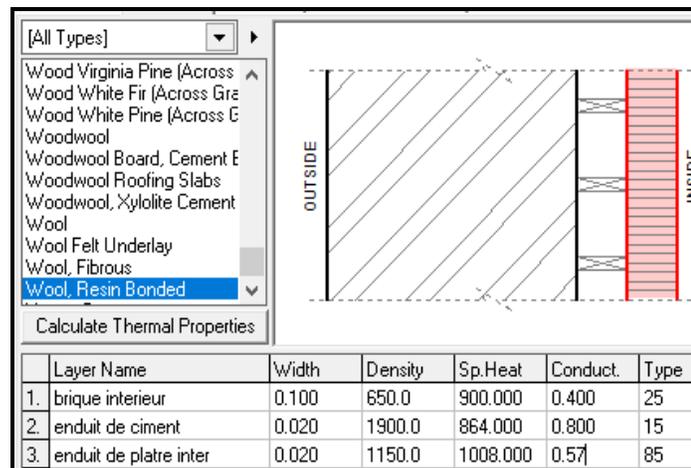


Figure5-5 : Composition de mur intérieur.

Source : Auteur

5.3.2. Deuxième scénario : (cas rénové)

Cette étape consiste à faire une rénovation de l'atelier étudié avec de nouveaux matériaux de constructions et d'isolation afin d'assurer de bonnes conditions thermique à l'intérieur de l'atelier, et garantir une bonne gestion de la consommation énergétique.

5.3.2.1. Motivation choix de l'isolant :

On a choisi d'isoler les parois extérieures et la dalle extérieure par la laine de mouton.

➤ **La laine de mouton :**

La laine de mouton est un produit isolant issu de matières premières de nature et de qualité variables selon les régions puisqu'elle est d'origine naturelle animale. Elle est utilisée pour l'isolation thermique comme pour l'isolation acoustique du bâtiment.

➤ **Les caractéristiques de la laine de mouton :**

Les caractéristiques	La valeur
La conductivité thermique	De 0.035 à 0.042 (W/m. K).
La masse volumique	De 13 à 35 (Kg/m3).
La chaleur spécifique varie	De 1000 à 1800 (J/Kg.K).
Le coefficient de diffusion à la vapeur d'eau	De 1 à 2

Tableau 5-2 : caractéristique de la laine de mouton.

Source : gallauziaux thierry , 2019

➤ **Les avantages de la laine de mouton :**

- Bon pouvoir hygroscopique.
- La laine peut absorber 33% de son poids en eau.
- Très bon isolant thermique.
- Ne dégage pas de flamme ni des gaz toxiques en cas d'incendie.
- N'est pas dangereux pour la santé.

5.3.2.2. Les choix des matériaux de construction : le choix des nouveaux matériaux de construction a été porté vers la brique auto-isolante, l'enduit de chanvre-chaux+B4 qui sont des matériaux :

- Durable, issus de ressources renouvelables.
- Ils n'ont pas un impact sur l'environnement.
- Une faible conductivité thermique.
- Une très bonne résistance thermique.

- **Dalle extérieure** : Le changement de polystyrène par un autre isolant plus efficace qui est la laine de mouton.

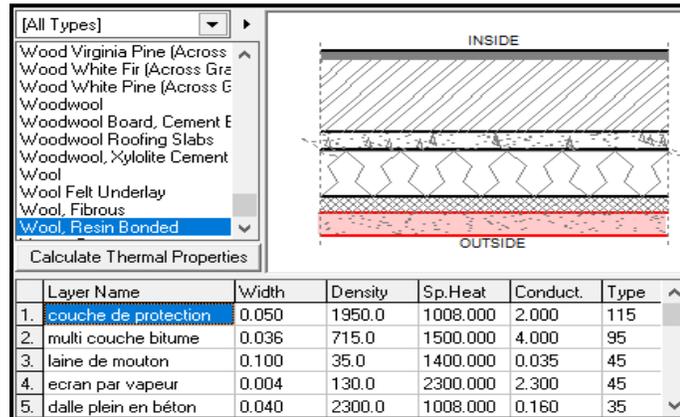


Figure5-6 : Composition de la dalle extérieure.

Source : Auteur

- **Mur extérieur** : est composé de six couches avec une épaisseur totale de 36 cm. Le changement de la brique standard par la brique auto-isolante, et l'enduit de ciment par l'enduit de chanvre-chaux+B4 et l'isolation de la paroi est réalisée par la laine de mouton, afin d'augmenter la résistance thermique des murs extérieurs.

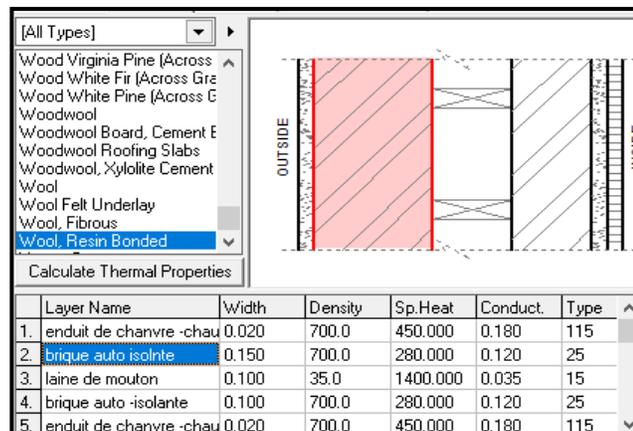


Figure 5-7 : Composition de mur extérieur

Source : Auteur

- **Mur intérieur** : le changement de la brique standard par une brique auto-isolante ainsi que l'enduit de ciment par l'enduit chanvre chaux+B4.

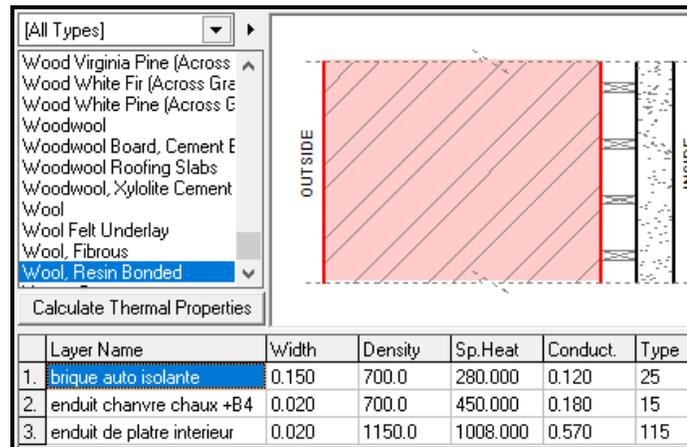


Figure5-8 : Composition de mur intérieur
Source : Auteur

- **Résultat avant rénovation**

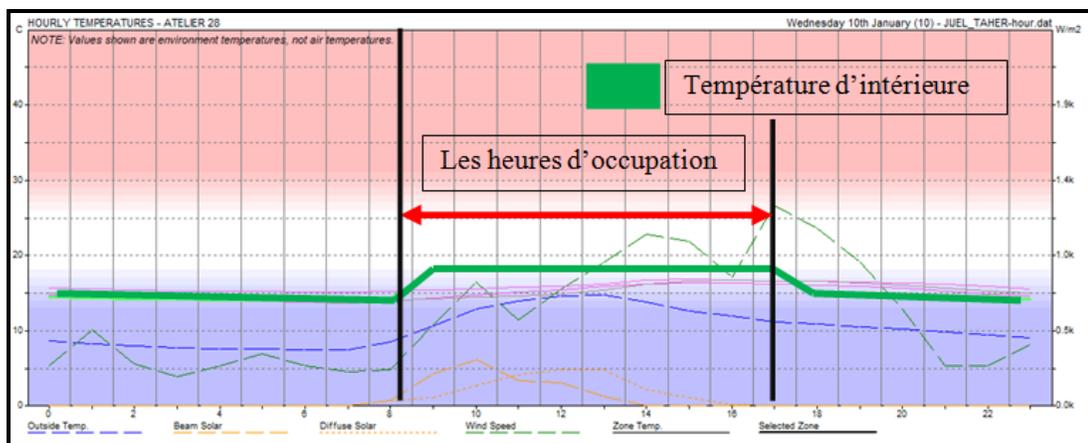


Figure5-9 : Diagramme de température intérieure de l'atelier 28 (cas existant).
Source : Auteur.

- **Résultat après rénovation :**

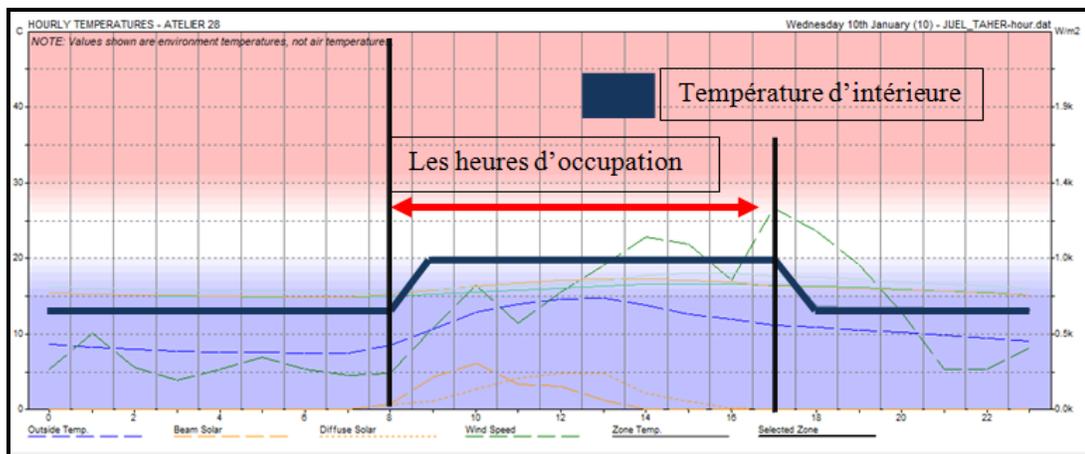


Figure5-10: Diagramme de température intérieure de l'atelier 28 (cas existant).
Source : Auteur.

✓ Interprétation

Dans le cas initial, à 8h la température intérieure est de 13.5°C, après l'entrée des étudiants dans l'atelier la température augmente pour rester constante à 16.5° jusqu'à la sortie des étudiants. Après la rénovation cette température (13.5°C) augmente jusqu'à 20°C (la température de confort à l'intérieur d'une classe) ainsi on remarque qu'elle est devenue constante dans les heures de la présence des étudiants. On peut interpréter cette variation par la nature des matériaux (propriétés thermophysiques) avec lesquels sont construits les murs séparés par la lame d'air qui joue le rôle d'isolant ne sont pas suffisants pour assurer le confort. Donc un recours à un chauffage accru est primordial afin de corriger la situation thermique. Par contre dans le deuxième cas l'effet du changement des matériaux et l'ajout d'un isolant est remarquable par l'amélioration de température intérieure qui peut atteindre celle du confort souhaité à l'intérieur d'une classe, donc on n'est pas obligé d'utiliser le chauffage et par conséquent diminuer la consommation énergétique.

-Consommation énergétique avant rénovation

✓ Interprétation

Suivant les graphes présentés dans les figures 5-10 et 5-11, on remarque que la consommation énergétique (de chauffage) dans l'atelier 28 est élevée pendant la période hivernale, où l'espace est chauffé depuis fin novembre jusqu'au mois de mars, cette consommation énergétique atteint une valeur de 20000 Wh en milieu de mois de janvier. Dans le même espace et après on remarque que la consommation de chauffage a considérablement diminuée.

-Avant rénovation

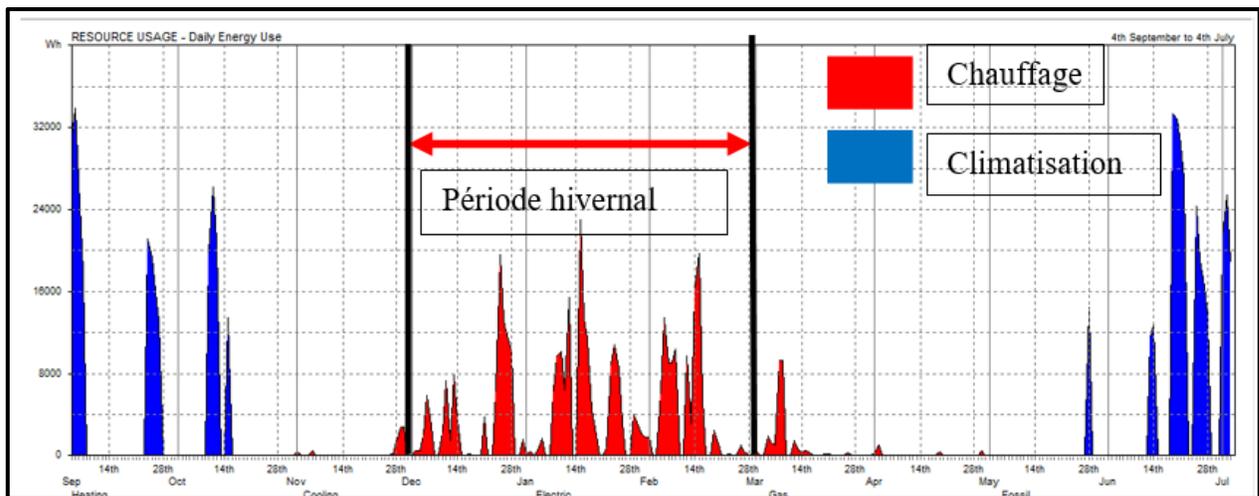


Figure5-11 : Diagramme de la consommation énergétique pour l'atelier 28 (cas existant).

Source : Auteur.

Après rénovation

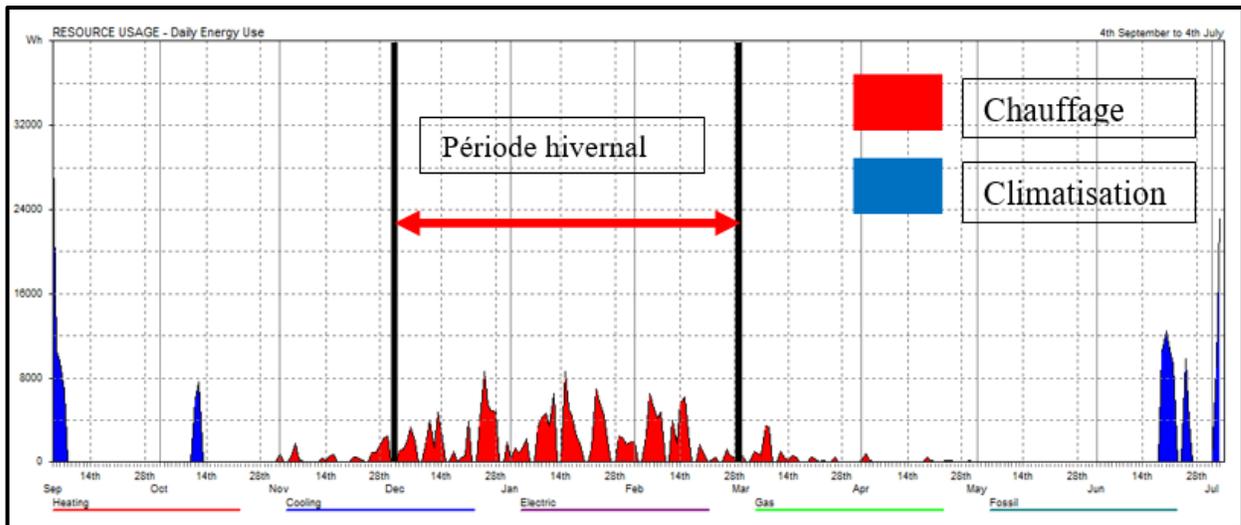


Figure 5-12: Diagramme de la consommation énergétique pour l'atelier 28 (cas rénové).
Source : Auteur.

5-4-Recherche de l'effet d'isolation et vérification de la condensation

L'objectif principal de ce calcul est l'évaluation des déperditions thermiques à travers les parois composantes de l'atelier 28, une recherche de la condensation superficielle ainsi que celle dans la paroi a été faite suivant la méthode de Glaser.

La paroi extérieure est composée des matériaux illustrés dans le tableau 1.

L'humidité relative et la température des milieux intérieur et extérieur sont respectivement :

- Milieu intérieur : $T_i = 20^\circ\text{C}$, $\phi_i = 90\%$
- Milieu extérieur : $T_e = 5^\circ\text{C}$, $\phi_e = 80\%$
- Vitesse de l'air moyenne = 8km/h

L'humidité relative de l'air représente le rapport entre la pression partielle de la vapeur d'eau contenu dans l'air et la pression de la vapeur saturante. Ce rapport change si la température à la paroi change, bien que l'humidité absolue de l'air n'ait pas changé.



Photo 5-1: Effet des ponts thermiques sur l'atelier 28
Source : Auteur

- **Paroi extérieure**

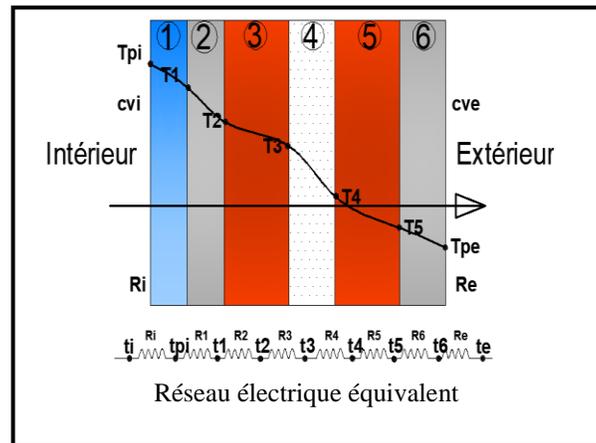


Figure 5-13 : composants du mur extérieur
Source : Auteur

5-4-1-Calcul des résistances thermiques est effectué suivant la relation :

$$R_{totale} = R_{int} + R_{ext} + \sum_{i=1}^8 R_i \quad \text{où} \quad R_i = \frac{e}{\lambda}$$

La résistance thermique totale : $R_{tot} = 1,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

On considère que K est le coefficient de transmission thermique surfacique de la

paroi extérieure avec isolation : $K = \frac{1}{R_{tot}} = 0.96153 \text{ w/m}^2 \cdot \text{k}$

- Les couches sont classées de l'intérieur vers l'extérieur :

Désignation	e(cm)	λ (W/mK)	π (Kg/mhmm Hg)	Rth(m ² K/W)	Rd(m ² hmmHg/Kg)
Air interieur	-	-	-	0.11	-
Plâtre	2	0.57	1	0.035	20
Enduit en ciment	2	0.8	0.005	0.025	4000
Brique	10	0.4	0.014	0.25	7142.85
Lame d'air	5	0.28	0.09	0.16	555.55
Brique	15	0.4	0.014	0.375	10714.85
Enduit en ciment	2	0.8	0.005	0.025	4000
Air extérieur	-	-	-	0.06	-

Tableau5-3: caractéristique de la paroi extérieure

Source : Auteur

5-4-2- Calcule de K' sans isolation

$$k' = \frac{1}{R'} \quad \text{où } R' = R_t - R_{is} = 1.04 - 0.16 = 0.88, \quad K' = 1.13636 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

-L'effet d'isolation sur le coefficient K

$$\frac{K' - K}{k'} = \frac{1.13636 - 0.96}{1.136} = 15.49 \%$$

-Si on remplace la lame d'air par la laine de mouton, un isolant naturel :

La résistance thermique devient : $R_{\text{isolant}} = R_{\text{laine de mouton}}$ avec une épaisseur de $e=5\text{cm}$

$$\text{d'où : } R_{t2} = (R_t - R_4 + R_{is}) = 2.308 \rightarrow k_2 = \mathbf{0.433}$$

-Valeurs de la résistance thermique en fonction de l'épaisseur de l'isolant

Laine de mouton $\lambda = 0.035$	Épaisseur (cm)			
	5	10	15	20
Rth(m ² K/W)	1.428	2.857	4.2857	5.714
K (W /m ² K)	0.433	0.2676	0.193	0.151

Tableau5-4 : résistance thermique de la laine de mouton

Source : Auteur

-L'effet de l'épaisseur de la laine de mouton sur le coefficient K

$$\frac{K' - K2(5)}{K'} = \frac{1.136 - 0.433}{1.136} = \mathbf{70.27\%}$$

De la même manière on cherche cet effet pour les autres épaisseurs

$$K2(10) = 1/R2(10) \text{ , } R2(10) = R_{t2} - R(5) + R(10) = 2.308 - 1.428 - 2.875 = 3.737$$

$$k2(10) = 0.2676 \text{ donc } K' - K(10) / K' = 1.136 - 0.2676 / 1.136 = \mathbf{76.44\%}$$

$$K2(15) = 1/R2(15) \text{ , } R2(15) = R' + R(15) = 0.88 + 4.2857 = 5.1657$$

$$K2(15) = 0.193 \text{ donc } K' - K2(15) / K' = \mathbf{82.96\%}$$

$$K2(20) = 1/R2(20) \text{ , } R2(20) = R' + R(20) = 0.88 + 0.714 = 6.594$$

$$K2(20) = 0.151 \text{ donc } K' - K2(20) / K' = \mathbf{98.43\%}$$

Donc on peut conclure que l'emplacement de la laine de mouton au sein de la paroi peut diminuer les pertes de chaleur à travers cette dernière de presque 100% , cela est dû au taux faible de la conductivité thermique de cet isolant. En prenant en considération le poids de l'isolant, une épaisseur de 10 cm est suffisante, par une réduction des pertes de prèsque 77%

5-4-3-Calcul des températures aux interfaces

- Avec la lame d'air :

On calcule d'abord la densité thermique :

$$q = \frac{\Delta T}{Rt} = \frac{20 - 5}{1.4} = 14.423 \text{ (w/ m}^2\text{)}$$

$$t_{pi} = t_i - q \times R_i = 20 - 14.423 \times 0.11 \quad \mathbf{t_{pi} = 18.41 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$t_{pe} = t_5 - q \times R_6 = 6.2136 - 14.423 \times 0.025 \quad \mathbf{t_{pe} = 5.853 \text{ }^\circ\text{C}}$$

d'une manière générale

$$t_{i+1} = t_i - q \times R_i$$

$$t_1 = t_{pi} - q \times R_1 = 18.41 - 14.423 \times 0.035 \text{ , de même}$$

$t_1 = 17.90 \text{ °C}$ $t_2 = 17.53 \text{ °C}$ $t_3 = 13.93 \text{ °C}$ $t_4 = 11.62 \text{ °C}$ $t_5 = 6.2136 \text{ °C}$

-verification :

- $t_e = t_{pe} - q * R_e = 5.853 - 14.423 * 0.06 \longrightarrow t_e = 4.987 \text{ °C}$
- $t_{pe} = t_e + q * R_e = 5 + 14.423 * 0.06 \longrightarrow t_{pe} = 5.865 \text{ °C}$

2-Avec la laine de mouton :

$q = \Delta T / R_2 (10) = 15 / 3.737$, $q = 4.0139 \text{ w/ m}^2$

$T_{pi} = t_i - q * R_i = 20 - 4.0139 * 0.11$ **$t_{pi} = 19.55 \text{ °C}$**

$T_{pe} = t_e + q * R_e = 5 + 4.0139 * 0.06$ **$t_{pe} = 5.24 \text{ °C}$**

$t_1 = 19.41 \text{ °C}$, $t_2 = 19.30 \text{ °C}$, $t_3 = 18.31 \text{ °C}$, $t_4 = 7.28 \text{ °C}$, $t_5 = 5.75 \text{ °C}$, $t_{pe} = 5.63 \text{ °C}$

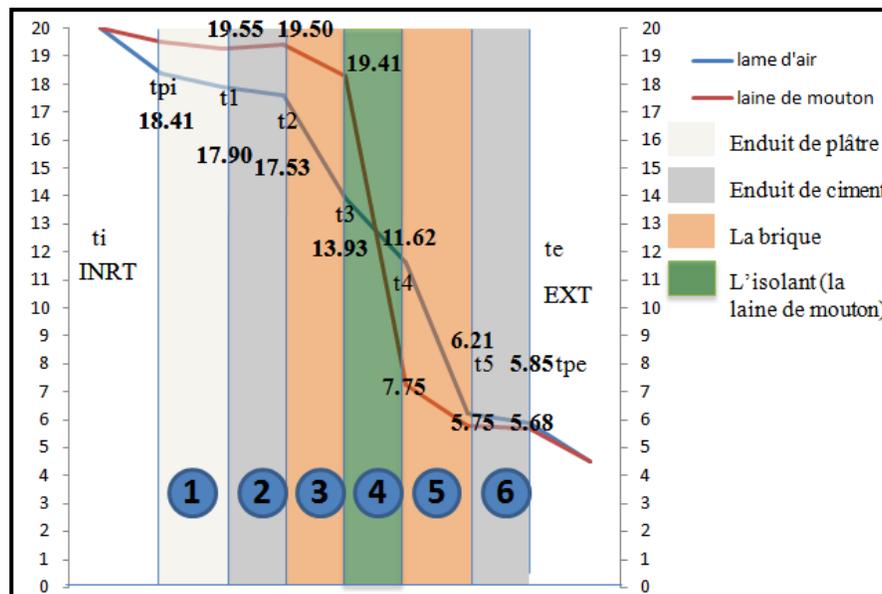


Figure 5-14 : graphe des températures aux interfaces
Source : Auteur

➤ Interprétation

D'après ces résultats, nous avons remarqué que la température de la face intérieure de la paroi isolée avec la lame d'air (18.41C°) est inférieure à celle isolée par la laine de mouton (19.55C°), en ce qui concerne les autres températures aux interfaces, leur courbe montre une chute libre de la température, ainsi que l'écart de la température aux côtés de l'isolant (lame d'air) est de 2.31C° par contre l'évolution de la température pour la paroi isolée avec la laine de mouton, on remarque d'après l'allure une chute timide et les trois premières couches tiennent chaudes, et cela grâce au pouvoir thermique de la laine de mouton. Une décroissance apparente de la température au niveau de cet isolant, dont l'écart a atteint 11.06C° au niveau des trois dernières couches vers l'extérieur. La courbe du premier isolant est située au-dessus de celle du deuxième isolant, cela reste insignifiant.

-Position de l'isolant

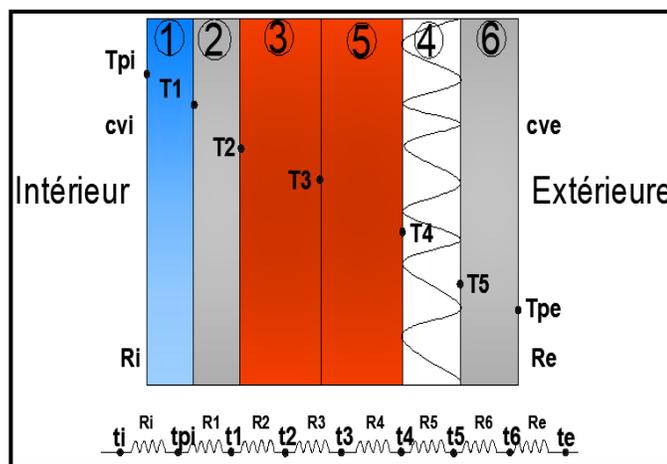


Figure5-15 : Position extérieure de l'isolant
Source : Auteur

En rénovation, on peut poser l'isolant sur la face extérieure de la paroi, les températures aux interfaces au niveau de l'isolant deviennent donc :

$$T3 = 18.31\text{C}^\circ.$$

$$T4 = t3 - q \cdot R5 = 18.31 - 4.0139 \cdot 0.375, \quad T4 = 16.79\text{C}^\circ.$$

$$T5 = T4 - q \cdot R6 = 16.79 - 4.0139 \cdot 2857, \quad T5 = 5.32\text{C}^\circ.$$

$$\text{L'écart a de valeur : } T5 - t4 = 16.79 - 5.32, \quad \Delta T = 11.46\text{C}^\circ.$$

En comparant T3 (position 1) avec T4(position 2).

$$T3=18.31\text{C}^\circ, T4=16.79\text{C}^\circ.$$

$$T5 (\text{position 1}) =5.75\text{C}^\circ, T5 (\text{position 2}) =11.64\text{C}^\circ.$$

L'écart de température entre le milieu intérieur et l'isolant est de valeurs suivantes :

***position 1 :**

$$\Delta t1 =t_i - t_4 = 20-7.25 \quad , \quad \Delta t1= 12.75^\circ\text{C}$$

***position 2 :**

$$\Delta t2 =t_i - t_5 = 20 - 5.32 \quad , \quad \Delta t2 =14.68^\circ\text{C}$$

Donc la deuxième position de l'isolant est préférable car l'écart de température est plus important et donc les pertes de chaleur vers l'extérieur sont plus faibles par rapport à la première position, de ce fait on peut conclure que pour une même résistance thermique composante la paroi, la position de l'isolant joue un rôle très important pour minimiser les déperditions thermiques.

5-4-5-Vérification de la condensation superficielle

En se servant du diagramme de Molier la température de rosé a été tirée en fonction de la température et l'humidité relative intérieures.

$$\left. \begin{array}{l} T_i = 20^\circ\text{C} \\ \varphi_i = 80\% \end{array} \right\} \longrightarrow Tr = 16^\circ\text{C}$$

On remarque que $T_{pi} > Tr$ donc on peut confirmer théoriquement que la condensation superficielle n'existe pas au niveau de cette paroi.

5-4-6-Vérification de la condensation dans la masse :

5-4-6-1-Méthode de Glaser :

Modèle de calcul statique permettant d'évaluer le risque de condensation à l'intérieur d'une paroi. A la différence d'une simulation hygrothermique dynamique plus complexe et plus fine, le modèle de Glaser ne considère que les transferts d'eau sous forme de vapeur.

5-2-6-2-Etapes de calcul :

-Pressions de la vapeur partielle intérieure et extérieure

Elle est fonction des humidités relatives et des pressions de saturation correspondantes aux températures intérieure et extérieure.

$$\begin{array}{l}
 \left. \begin{array}{l}
 Te = 5^{\circ}C \\
 \varphi_e = 90\%
 \end{array} \right\} \longrightarrow P_{ve} = \varphi_e \times P_{se} = 0.9 \times 872 = 784,8 \text{ Pa} = 5.77 \text{ mmHg} \\
 \left. \begin{array}{l}
 \dots\dots\dots \\
 \varphi_i = 80\%
 \end{array} \right\} \longrightarrow P_{vi} = \varphi_i \times P_{si} = 0.8 \times 2377 = 1869 \text{ Pa} = 13.747 \text{ mmHg}
 \end{array}$$

-Pressions de la vapeur partielle au niveau de la paroi

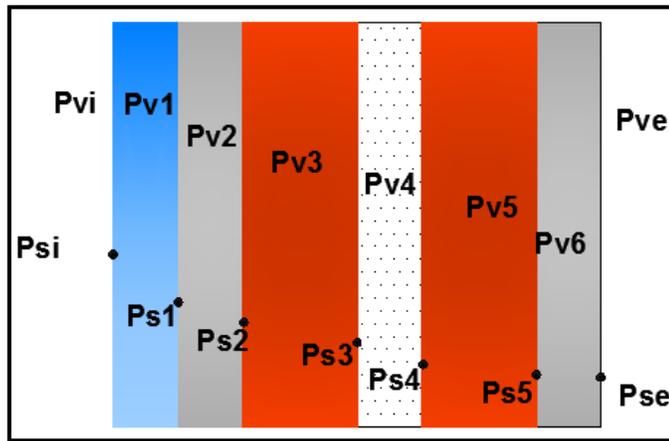


Figure5-16: représentation des pressions au niveau de la paroi
 Source : Auteur

Les différentes pressions de la vapeur partielles se calculent en fonction des pressions partielles et les différentes résistances à la diffusion de la vapeur d'eau.

$$Rd = \frac{e}{\pi}$$

π (Kg/mhmmHg) est la perméabilité des différents matériaux.

$R_{dt}=26433.25$ (m².h.mmHg/Kg) est la résistance totale à la diffusion à la vapeur d'eau.

$$Pv = Pvi - \frac{e}{\pi} \times \frac{Pvi - Pve}{\sum \frac{e}{\pi}}$$

Considérons que

$$\frac{P_{vi} - P_{ve}}{\sum \frac{e}{\pi}} = A = 30.178 \times 10^{-5}$$

Donc : $P_{v1} = P_{vi} - R_{d1} \times A = 13.74 \text{ mmHg}$

$P_{v2} = P_{v1} - R_{d2} \times A = 12.534 \text{ mmHg}$

De la même manière on trouve que :

$P_{v3} = 10.378 \text{ mmHg}$ $P_{v4} = 10.21 \text{ mmHg}$ $P_{v5} = 6.977 \text{ mmHg}$ $P_{v6} = 5.77 \text{ mmHg}$

-Calcul des pressions de saturation correspondantes aux températures aux interfaces :

La pression de saturation (P_s) de l'air se calcule en fonction de la température par l'utilisation d'un abaque (méthode d'interpolation) ou par des formules mathématiques empiriques. (Voir annexe)

T (C°)		Ps (mmHg)		Pv(mmHg)	
t _i	20	P _{si}	17.18	P _{vi}	13.75
t _{pi}	18.41	P _s	15.57	P _{v1}	13.74
t ₁	17.90	P _{s1}	15.07	P _{v2}	12.53
t ₂	17.53	P _{s2}	14.735	P _{v3}	10.378
t ₃	13.93	P _{s3}	11.698	P _{v4}	10.21
t ₄	11.62	P _{s4}	10.057	P _{v5}	6.977
t ₅	6.21	P _{s5}	6.97	P _{v6}	5.77
t _{pe}	5.85	P _{s6}	6.799	P _{ve}	5.77
t _e	5	P _{se}	6.41		

Tableau5-5 : pressions de saturation correspondantes aux températures aux interfaces.

Source : Auteur

En fonction des différentes épaisseurs de la paroi, les résultats obtenus ci-dessus nous permet de tracer les courbes des pressions partielles et de saturation, est l'étape finale de la méthode de Glaser. Après avoir tracer les deux courbes, la vérification de la condensation dans la masse, ses différentes causes et des solutions proposées pour pallier ce problème sont détaillées et analysées suivant le graphe et le cas réel existant.

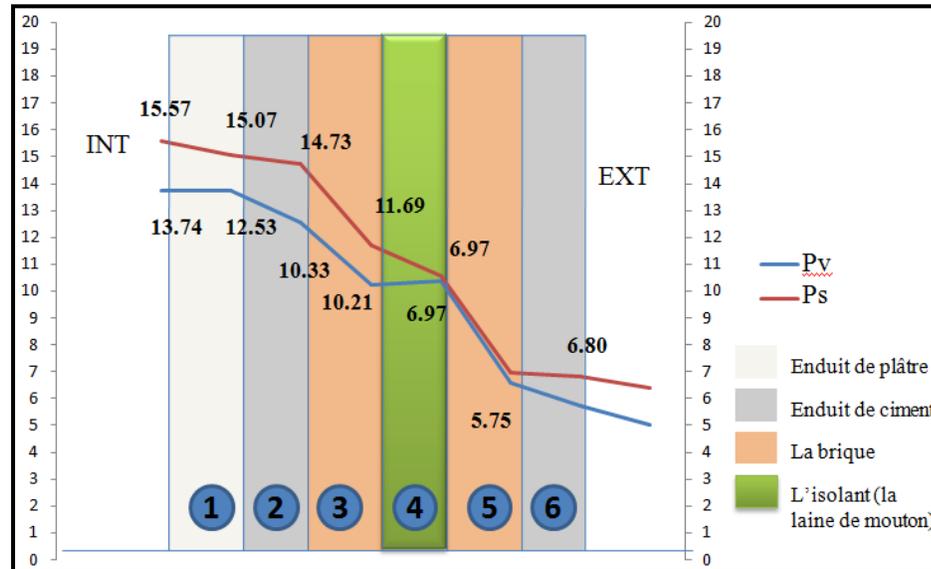


Figure 5-17 : graphe des pressions
Source : Auteur

-Analyse, Interprétation et Recommandations :

D'après le graphe illustré dans la figure on remarque que la condensation existe dans la paroi extérieure au niveau de la lame d'air, où les deux courbes se croisent, au niveau des autres couches, les courbes sont proches l'une de l'autre ce qui signifie qu'un majeur risque de condensation pourra s'installer. Par contre, dans la réalité, on voit bien les dégâts sur le mur dus à la condensation, cela peut être interprété par une mauvaise ventilation et un manque d'aération du local, ainsi qu'une infiltration d'eau à travers les matériaux constituant la paroi. -l'apparition d'eau de condensation et de moisissures est due principalement à la perte de chaleur à travers les fenêtres, ainsi qu'aux ponts thermiques au niveau de cette dernière. En effet, ils sont à l'origine que la couche d'isolation soit interrompue. Réduire au maximum les ponts thermiques, limiter les pertes thermiques est une condition primordiale, nécessite une bonne conception de la fenêtre afin de prévenir l'apparition de la condensation.

- L'étanchéité à l'air; si le local manque d'étanchéité et perméable à l'air les pertes de chaleur ne peuvent pas être compensées par le chauffage. Sur le plan énergétique, le local est efficace; il est donc indispensable que son enveloppe soit imperméable à l'air, il faudrait donc élaborer au cours de la planification un concept d'étanchéité à l'air qui prend en compte les joints et les éléments transversants, tel que les raccords et les prises d'électricité contribuant à

l'interromption de l'étanchéité, de ce fait il est recommandé de prévoir une cloison technique pour le passage des cables et des conduits.

-Fenêtres et vitrage ; Comme l'isolation thermique de l'enveloppe, les fenêtres sont un composant essentiel qui contribue à la performance énergétique d'un bâtiment par la pénétration la plus possible d'énergie solaire tout en réduisant les pertes thermiques. Donc avant de choisir la taille et le nombre des fenêtres, il faut équilibrer les intérêts contradictoires des gains solaires et des déperditions de chaleur. Sans réduction importante des déperditions de chaleur, ces gains solaires ne servent à rien parce qu'ils disparaissent rapidement.

-Le coefficient K du vitrage est très important, il est très éloigné de la norme, de ce fait, vaut mieux, utiliser un double vitrage même des triples vitrages, les cadres des fenêtres peuvent constituer un pont thermique, pour cette raison il est mieux qu'ils ne soient pas installés directement sur la maçonnerie, mais qu'ils soient encastrés dans l'isolation.

-On opte pour une ventilation mécanique contrôlée double flux qui assure l'apport d'air frais, en même temps, elle permet pratiquement de remplacer le chauffage car elle dispose d'un système performant de récupération de chaleur. Une quantité constante d'air extérieur est aspirée à travers un filtre amené à l'échangeur de chaleur, simultanément l'air vicié chaud est aspirée et amené à l'échangeur de chaleur pour transmettre sa chaleur à l'air frais.

Conclusion

Les bâtiments anciens sont toujours exclus des mesures législatives d'économies d'énergie, alors qu'ils représentent la plus grande partie du parc bâti, d'une manière générale, une rénovation au standard (maison passive) n'est possible qu'avec une isolation extérieure des murs qui permet de supprimer les ponts thermiques, tels que les extrémités de dalles mal isolée, alors que ce n'est pas possible avec une isolation intérieure qui réduit toujours la surface d'habitation.

-Calcul des déperditions de chaleur

Plusieurs paramètres engendrent et favorisent des déperditions thermiques de l'ambiance intérieure vers celle de l'extérieure en période hivernale. Notre objectif est de réduire et même d'annuler les pertes de chaleur à travers le mur extérieur, notre première réflexion tombe sur

l'équation de calcul $Q = \frac{\Delta T \times S}{Rt}$

Tant que la matière existe la surface et la résistance ne s'annulent jamais $S \neq 0$, $Rt \neq 0$ et donc c'est l'écart de température qui doit être nul, $\Delta T=0$ et cela n'est pas possible, donc nous raisonnons que ce flux de chaleur ne s'annule, cependant elle peut tendre vers le zéro si la résistance thermique est plus importante, autrement dit que $Rt \gg \Delta T$

Pour notre cas d'étude et afin de rénover le local éducatif, la solution la plus facile et pratique est de renforcer la paroi par le rajout un isolant par l'extérieur ou par l'intérieur. En effet ces deux techniques présentent des avantages et des inconvénients, sujet traité déjà par nos collègues.

Choix du matériau d'isolation

L'isolation thermique permet à la fois de réduire les consommations d'énergie de chauffage, de climatisation et d'accroître le confort. Mais ce n'est pas tout. Parmi les matériaux utilisés dans le bâtiment, il existe des différences d'impacts environnementaux, qui doivent être évalués sur l'ensemble du cycle de vie ; extraction de matière première, production, mise en œuvre, recyclage...). Généralement, l'énergie économisée par l'action d'isoler un bâtiment pendant son cycle de vie est supérieure à l'énergie grise pour fabriquer l'isolant. Notre choix est tombé sur la laine de mouton une matière non seulement pour sa disponibilité dans notre pays, mais aussi pour ses caractéristiques.

Caractéristiques de la laine de mouton

Suivant son degré de pureté, la pure laine issue de la tonte du mouton présente des caractéristiques intéressantes, citées ci-dessous :

- Une densité de 20 kg/m^3 .
- Une conductivité thermique de $0,035 \text{ W/m/K}$, un peu moins bon isolant que le liège ($0,032 \text{ W/m/K}$), mais meilleur que la laine de roche ($0,040 \text{ W/m/K}$). Pour une même performance en isolation, 200 mm d'épaisseur de laine de mouton équivaut à 250 mm de laine minérale (laine de roche, laine de verre...).
- C'est un très bon isolant thermique (les fibres renferment jusqu'à 80% d'air).
- Présente une très bonne tenue au feu : en effet, la laine pure brûle sans flamme à partir de 560°C sans dégager de vapeurs toxiques, et s'éteint d'elle-même dès que la source de chaleur disparaît.
- La laine pure est très fortement hygroscopique, elle peut absorber et relâcher l'eau à hauteur de 33% de son poids (c'est-à-dire 1 kg de laine absorbe jusqu'à 330 millilitres d'eau), autrement dit,

dans les limites de cette proportion, les fibres ne se transforment pas par une liaison chimique avec l'eau qu'elles ont rencontrée, elles conservent leur propriété d'isolant et ne se mouillent pas. Jointe à la propriété d'isolant thermique, cette propriété d'hygroscopie fait de la laine un bon régulateur climatique de l'habitat. De ce fait, la laine ne moisit pratiquement jamais et forme un écran anti-moisissure pour les zones qu'elles recouvrent vis-à-vis de l'air ambiant. On l'utilise aussi sous les parquets pour isoler des bruits d'impacts.

Bilan thermique de l'atelier :

L'évaluation des déperditions thermique du local est faite suivant la réglementation thermique Algérienne la réglementation thermique des bâtiments présentée dans le Document Technique Réglementaire (D.T.R. C3-2), considérant que D sont les déperditions totales du volume considéré, égale à l'addition des déperditions thermiques par transmission D_t et les déperditions thermiques par renouvellement d'air D_r

$$D = D_t + D_r \quad [W/°C]$$

Déperditions thermiques par transmission

Les déperditions thermiques par transmission d'un volume à travers son enveloppe sont données par :

$$D_t = D_s + D_{li} + D_{sol} + D_{lnc} \quad [W/°C]$$

Avec :

D_s : représente les déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieur.

D_{li} : représente les déperditions surfaciques à travers les liaisons.

D_{sol} : représente les déperditions surfaciques à travers les parois en contact avec le sol

D_{lnc} : représente les déperditions surfaciques à travers les parois en contact les locaux non chauffés.

L'atelier 28 comporte trois parois extérieures y compris la dalle, et trois intérieures y compris le sol de surface 79.17 m^2 avec une hauteur de 3.72 m.

Le calcul de D_s à travers les parois extérieures, contenant des fenêtres considérées des parois hétérogènes est en fonction du coefficient de transmission moyen.

$$K_{moy} = \frac{\sum K_i \times A_i}{\sum A_i}$$

Mur extérieur orientation Nord

$$K_{mur} = 0,961 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$S_{mur} = S_{\text{paroi}} - S_{\text{fenêtre}} = (9,1 \times 3,72) - (2,1 \times 1,6) \times 4 = 20,412 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{porte}} = 2,2 \text{ m}^2, S_{\text{nette}} = 20,412$$

La réglementation propose un $K_{vn} = 5 \text{ W/m}^2 \text{K}$ pour un vitrage simple.

$$K_{moy} = (0,961 \times 20,412 + 5 \times 13,44) / 33,85 = 2,564 \text{ W/m}^2 \text{K}$$

Donc : D1 (paroi extérieurs avec fenêtre :

$$D1 = 1302,31 \text{ W}$$

-Mur extérieur orientation ouest

$$D2 = 0,96153 \times 15 \times 8,7 \times 3,72 D2 = 466,78 \text{ W}$$

Toiture

$$R_t = \sum R_i = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_e$$

$$R_t = 0,09 + 0,025 + 0,009 + 1,0256 + 0,00152 + 0,0222 + 0,1777 + 0,035 + 0,05 = 1,436 \text{ m}^2 \text{K/W}$$

$$K = 0,6963 \text{ W/m}^2 \text{K} D_{\text{toit}} = K \times S \times \Delta t = 0,6963 \times 9,1 \times 8,7 \times 15 D_{\text{toit}} = 826,973 \text{ W}$$

Porte :

$$D_p = K \times S_p \times \Delta t = 2 \times 1,04 \times 2,2 \times 5$$

$$D_p = 22,88 \text{ W}$$

Imposte

$$(K_f \times S \times \Delta t) \times 3 = 5 \times 0,294 \times 3 \times 5 = 32 D_{\text{imposte}} = 32 \text{ W}$$

Paroi intérieure (atelier-couloir)

$$D_{\text{mur}} = S_{\text{nette}} \times K_{\text{mur}} \times \Delta t, S_{\text{nette}} = 30,28 \text{ m}^2$$

$$R_t = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_e = 0,11 + 0,035 + 0,25 + 0,257 + 0,11 \text{ (schéma)}$$

$$R_t = 0,762 \text{ m}^2 \text{K/W} \quad K = 1,312 \text{ W/m}^2 \text{K}$$

$$D_{\text{mur intérieur}} = 30,28 \times 5 \times 1,312 \quad D_{\text{mur}} = 198,683 \text{ W}$$

-Déperditions à travers les ponts thermiques

Les liaisons à la jonction des parois entre les murs et les menuiseries, communément sont appelés ponts thermiques. Ils constituent des sources supplémentaires de déperditions, ces liaisons, points faibles thermiques, sont souvent à l'origine de désordres dans la construction les déperditions à travers une liaison autrement dit pont thermique sont calculées en fonction du coefficient de transmission linéique de la liaison. Suivant la réglementation ; dans le cas d'un Calcul pièce par pièce, les pertes calorifiques par transmission affectées à chaque volume

Doivent être majorées de 20%. De ce fait : D (pont thermique) = $0.2 \times D_{tot}$

$$D_{pt} = 0.2 \times 3419.55 = 683.1W$$

Déperditions par renouvellement d'air

Les Déperditions par renouvellement d'air sont évaluées suivant la relation suivante :

$$D_r = 1.16 \times \sum (a_i \times l_i) \times R \times H \times (T_i - T_e) \times Z_e$$

$\sum(a_i \times l_i)$ est la perméabilité des fenetre et portes au vent, son évaluation est la suivante :

$$(a \times l) \text{ porte} = 40 \times (2.2 \times 2 + 1.04 \times 2) = 259.2m$$

$$(a \times l) \text{ fenetre} = 3 \times (2.1 \times 2 + 1.6 \times 4 + 1.46 \times 2) \times 4 = 135.2m$$

$$(a \times l) \text{ imposte} = 3 \times (1.6 \times 2 + 0.8 \times 4) = 259.2m$$

Pour une région normale et site protégé $H=0.24$ $Z_e = 1$ il n'y pas de fenêtre d'angle

$$D_r = 1209.035 W$$

-Apports thermiques

Les apports internes de chaleur représentent essentiellement des quantités de chaleur produites à l'intérieur des locaux dus aux occupants et aux appareils électriques. Ils sont calculés par les formules suivantes :

Type de bâtiments	Occupation [m2/personne]	Présence[h/j]	Puissance[W]
Logement	60	12	70
Bureau	20	6	60
Ecole	10	4	70
restaurant	5	3	100

Tableau5-6:puissance thermique dégagée par les habitants

Source : selon SIA380/1

Tableau puissance thermique dégagée par les habitants, selon SIA380/1

$$\text{-Les occupants : } P_{occupants} = N \times \frac{p h}{24} = A \times \frac{p h}{24 D} = 20 \times \frac{70 \times 7.5}{24} = 132.626W$$

N : est le nombre d'occupants dans la zone chauffée.

P : est la puissance dégagée par occupant.

h : est le temps de présence par jour.

A : est la surface brute de plancher chauffé.

D : est la surface disponible par occupant.

$$\text{-Les appareils : } P_a = P_{el} \times f_e = 2.53678 \times 79.17 = 200.837W$$

Type de bâtiments	Consommation annuelle [MJ/M2]	Facteur de correction (fe)
Logement	80-100	0.7
Ecole	80	0.9
restaurant	40	0.9

Tableau5-7 : la consommation annuelle des appareils par type de bâtiments
Source : Auteur

Evaluation de la puissance de chauffage

Le bilan thermique d'hiver du local a été fait en considérant les conditions les plus défavorables comme données de base, de ce fait le résultat trouvé nous permet d'évaluer la puissance de chauffage à installer, et prévoir l'équipement thermique adéquat.

La puissance « Q » nécessaire pour établir le confort dans le local dépend du type de système de chauffage utilisé. Pour un système de chauffage par radiateur, elle est donnée par la relation suivante : $Q=(T_{bi}-T_{be}) \times [1+\max(C_r,C_{in})] \times Dt+[(1+C_r) \times Dr]$

T_{bi} et T_{be} sont respectivement la température intérieure et extérieure de base C_r est le ratio estimé des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries. C_{in} est le coefficient de surpuissance.

$$Q = (21-2) \times [1+0.20] \times 3419.55 + [1+0.20] \times 1209.035 = 79416.582W$$

Puissance fournie par le capteur solaire

La puissance capté et fournie par un capteur solaire thermique est évaluée par la relation :

$$Q = Fr \times \tau \times \alpha \times Pg - Fr \times UL \times \Delta T = Q = 0.68 \times 500 - 4.9 \times 15 = 291 W/m^2$$

Pour une puissance de rayonnement solaire incidente de $500 W/m^2$, la puissance fournie par le capteur solaire est égale à $291 W/m^2$

Synthèse

D'après cette approche numérique, nous avons constaté que la laine de mouton peut réduire les déperditions de 75% pour une épaisseur de 10 cm, de ce fait on s'approche de notre objectif en ce qui concerne la consommation zéro d'énergie fossile, afin de l'atteindre on propose l'utilisation de l'énergie solaire via des capteurs solaires thermique à eau ou à air.

Conclusion :

Afin de conclure ce chapitre, il s'agit de prendre en considération les résultats obtenus lors de la simulation et des calculs.

Les établissements en Algérie sont inconfortables et provoquent une consommation énergétique intensive. Cela est dû aux défauts de réalisation qui augmentent les déperditions thermiques.

La simulation de l'atelier 28 dans son cas existant montre qu'il y a un manque de confort hygrothermique. L'orientation de bâtiment, les matériaux de constructions, la lame d'air avec l'utilisation du simple vitrage sont les principaux éléments responsables sur l'inconfort, donc les occupants s'orientent vers l'utilisation de chauffage et consomment plus d'énergie. Enfin, notre proposition consiste à améliorer les points faibles de l'atelier. Il s'agit d'isoler les parois extérieures et la toiture par un isolant efficace (la laine de mouton), en remplaçant la brique creuse avec celle de la brique auto-isolant et l'utilisation du double vitrage. Cela nous a garanti une amélioration des ambiances intérieures en assurant les économies sur le chauffage par rapport à un établissement ordinaire.

CONCLUSION GENERALE

Recommandations

Cette partie de notre mémoire et d'après les résultats obtenus lors de la simulation nous avons formulé des recommandations quant à l'avenir du concept des bâtiments à zéro énergie (BZE), et d'assurer des bonnes conditions thermique a l'intérieurs de ces bâtiments. Donc il s'agit de prendre en considération lors de la conception les recommandations suivantes :

✓ Les besoins en matière de ventilation varient selon les taux d'occupation et l'utilisation des locaux. Le processus de ventilation naturels présente de nombreux atouts tant sur le plan économique que sur celui de l'environnement et du confort des occupants, c'est une stratégie naturelle intégrée dès la conception de la construction, évitant ainsi les méfaits éventuels des chocs thermiques liés à l'usage d'air conditionné.

✓ Les ponts thermiques produisent des températures basses dans un espace mal isolé. Si l'air de l'entourage (la pièce) est plus chaud qu'à cet endroit, un condensat se forme et augmente le risque de moisissure dans un espace mal aéré. Dans le pire des cas, les spores atteignent aussi les murs et représentent un danger pour la santé des habitants, de ce fait :

✓ Il faut prévoir une protection contre la moisissure et l'humidité, car leur élimination se révèle très délicate et coûteuse. Il faut savoir que cette situation peut être évitée d'avance par une isolation adéquate de tous les éléments de la construction et par une aération régulière.

✓ Prévoir un pare-vapeur pour les murs extérieurs est impératif afin de s'assurer que la vapeur d'eau ne stagnera pas à l'intérieur des parois, indépendamment du système de ventilation mis en œuvre et le type d'isolation des parois.

✓ Encourager l'utilisation de la laine de mouton. Les moutons vivent dans des climats froids mais aussi des climats chauds, ils produisent la laine pour se protéger de ces températures extrêmes, un processus naturel confirme que cette matière présente une bonne capacité de régulation hygrométrique. La laine de mouton est non irritante, recyclable et très stable dans le temps. Elle est aussi caractérisée par un taux faible de l'énergie grise ainsi qu'une haute performance acoustique, pour cela, on recommande l'étude d'une optimisation de l'épaisseur de cet isolant afin d'obtenir un affaiblissement acoustique de 55 dB dans le bâtiment.

✓ Une attention particulière doit être apportée à l'architecture bioclimatique des bâtiments, orientée vers les économies d'énergie et le confort, une telle conception exploite le

rayonnement solaire, une énergie propre et abondante, en utilisant le double et même le triple vitrage avec l'ombrage des espaces solaires.

✓ Le captage du rayonnement solaire via de capteurs thermique et photovoltaïque permet le stockage de l'énergie et la continuité de son utilisation.

✓ La conception d'une enveloppe performante car elle a la plus grande efficacité énergétique et réduit ainsi les besoins en chauffage et climatisation.

✓ Mettre le confort des occupants à l'avant plan de la conception : Une des leçons importantes tirées concernant la conception des bâtiments à (ZEB) est l'importance à apporter au confort des occupants. Donc, si les occupants n'y sont pas confortables ils trouveront des moyens pour mieux répondre à leurs besoins, mais ces derniers risquent d'augmenter la consommation d'énergie de la maison.

✓ Intégrer les technologies nécessaires comme les panneaux solaires PV. Il faut aussi privilégier l'installation d'un réseau de conduits dans la maison dès sa construction permettant d'incorporer un système de chauffage et de climatisation centralisé.

✓ Rendre obligatoire une cote d'efficacité énergétique des bâtiments.

Conclusion

Il est vrai que notre pays l'Algérie ne manquera pas si tôt de ses énergies fossiles, mais nous devons nous accoutumer à l'idée que l'ère de l'abondance prendra fin progressivement. Leur substitution par des énergies renouvelables doit donc être envisagée notamment dans le bâtiment,

L'objectif de ce travail est d'étudier le comportement hygrothermique du local, qui affecte directement les matériaux de construction. Le choix non cohérent de ces matériaux affecte aussi la consommation énergétique, de ce fait une relation transitive existe toujours, où l'obtention d'un bâtiment à zéro consommation ne se réalise que si et seulement si le confort hygrothermique était vérifié.

Suite à une étude de sensibilité paramétrique sur les composants de la paroi l'objectif est donc de déterminer, quels sont les paramètres les plus influents sur le confort hygrothermique au niveau d'un local éducatif où les résultats obtenus ont permis à conclure ce qui suit :

-Les fenêtres contribuent considérablement à l'isolation thermique car elles sont directement liées à l'extérieur. Leur isolation fait aujourd'hui l'objet de recherche et du développement écologique.

-Une fenêtre à excellente valeur de coefficient de transmission n'empêchera pas l'échappement d'énergie causé par des portes ou des cadres mal isolés. Aussi les ponts thermiques feront perdre beaucoup d'énergie.

-L'utilisation de la laine de mouton empêche la formation de la condensation grâce à sa perspirante, un matériau isolant qui diffuse facilement la vapeur d'eau à l'extérieur, en limitant sa diffusion à la couche intérieure. La pose de l'isolant permet de réduire considérablement la consommation d'énergie de chauffage, et d'accroître le confort. Mais ce n'est pas tout, elle est également intéressante en termes de protection de l'environnement, et d'économies financières.

- La formation et l'apparition de la condensation dans la paroi est favorisée par l'absence d'une flexibilité de contrôle en modifiant l'aération par la fermeture et l'ouverture des fenêtres ce qui peut tempérer l'humidité et la température des espaces intérieurs, même s'il convient de balancer cet effet avec les risques d'inconfort liés à la vitesse de l'air, ce contrôle serait également bénéfique en termes de santé et de productivité, notamment dans les établissements éducatifs.

Références bibliographiques :

Les ouvrages :

- Akrouche Amina, (2011). « *Etude du stockage et déstockage d'énergie dans un matériau à changement de phase* ». mémoire du magister, Université M'Hamed BOUGARA – Boumerdes , 108 p.
- Attia .S, G. M, (2010). « *Aiming Zero Impact Buildings: Mondo Solar-2002, A case study in Belgiu* ». Sustainable Buildings CIB 1, 64p.
- Attia .S, (2012). « *Zero Energy Residential Buildings in Hot Humid Climates* ». UCL Presses Universitaires de Louvain, Belgique, P 41.
- Berghout Belkacem , (2012). « *Effet De L'implantation D'un Bâtiment Collectif Sur Le Confort Hygrothermique Intérieur Cas De Biskra* », Algérie, École De Technologie Supérieure, Université Du Québec, 91p
- Berkat.F , Belaidi.I ,(2016-2017). « *Enseignement supérieur PROJET : ÉCOLE D'ARCHITECTURE ET DE GÉNIE CIVIL A SIDI BEL ABBES* ». Mémoire de mastère architecture et technologie. -Université de Mohamed Seddik Ben Yahia, Jijel, P24.
- Candanedo Ibarra, J.A, (2011). « *A Sudy of Predictive Control Strategies for Optimally Designed Solar Homes* ». Thèse de doctorat, Université Concordia, Montréal, Québec, 286 P.
- Cordier .N, (2007) . « *Développement et évaluation de stratégies de contrôle de ventilation appliquées aux locaux de grandes dimensions* ». thèse de doctorat soutenue a L'Institut National des Sciences, Lyon, France, 61p.
- Couasnet .Y, (2005). « *Propriétés et caractéristiques des matériaux de construction* ». Ed Le Moniteur, Paris, 248 p.
- Dessureault Pierre C. Pierre Oupin, Michaël Bourassa , (2014). « *Pertinence et conditions d'utilisation des indices thermiques dans le contexte québécois* ». Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail. Québec, 31p.
- Déoux S, et Déoux p ., (2004). « *Le guide de l'habitat sain : habitat, qualité, santé pour bâtir une santé durable* ». 2 éd. Rev, et augm. Andorre Medieco, 137p.
- Dermouchi. L Chekraoui Kh, (2005). « *Confort Thermique Intérieure Des Constructions S Par Les Procédes Passif* ». Département d'architecture, Université de Jijel, 45p.
- Dictionnaire Encyclopédique Larousse, (1979). LAROUSSE. Paris. 351p.

- De Herde.A, Liébard.A , (2005). «*traité de l'architecture et d'urbanisme bioclimatique :concevoir,edifier et aménagé avec le développement durable*» , le moniteur, paris ,France , 16et ,28p.
- Despretz.H., (2004). « *Maîtrise de l'énergie dans les bâtiments. Définitions. Usages. Consommations* ». revue technique de l'ingénieur, no BE9020, 4p.
- De-Haut .P, (2007). « *Chauffage, isolation et ventilation écologique* ». Ed Eyrolles, Paris. 179p.
- CSTB, (2006). « *Classement des locaux en fonction de l'exposition à l'humidité des parois et nomenclature des supports pour revêtements muraux* ». CSTB, 15p.
- Fernandez .P, et Ligne .P, (2009). « *concevoir des bâtiments bioclimatiques, fondements et méthodes*». Le moniteur, 93p.
- Fuchs F-M, Raymond. B, (2010). « *Échanges thermiques d'une parois* ». Techniques de construction, Paris ,20p.
- Ferakh.s ,(2006). « *les ponts thermiques dans le bâtiment* ».CSTB, Nancy (France) ,16 p.
- Givoni.B, (1978). « *L'homme, l'architecture et le climat* ». Moniteur, Paris, 460p.
- Grignon-Masse. L, (2010). « *Développement d'une méthodologie d'analyse coût-bénéfice en vue d'évaluer le potentiel de réduction des impacts environnementaux liés au confort d'été : cas des climatiseurs individuels fixes en France métropolitaine.* ».Thèse de Doctorat, l'École nationale supérieure des mines, Paris, 305p.
- Izard, J-L, Guyot A, Archi bio,(1979), «*Architecture bioclimatique Roquevaire* ». Parenthèses, France,13p.
- Justin. K, (2004). « *Ventilation des logements et critères d'évaluation de la qualité des ambiances intérieures* ». thèse de doctorat, CSTB, 33p.
- Kharchi. R., (2013). « *L'efficacité énergétique dans le bâtiment*».CDR, Algeris, 9p.
- Laustens. J, (2008). «*Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings, International Energy Agency*». OECD/IEA, Paris.
- Maes. P., 2009. « *Labels d'efficacité énergétiques* ».EYROLLES, 2010, Paris.
- Maria. Lopez, (2012). «*Des ambiances thermiques*».Diaz, 15p.
- Mazzari. M, 2012. « *Etude et évaluation de confort thermique des bâtiments à caractère public*». Mémoire de magistère en architecture, Tizi ouzzou, université Mouloud Mammeri, 7p.
- Nicolas Morel et Edgard Gnansounou , (2008). « *Énergétique du bâtiment, section de génie civil, 4ème/5ème année*». école polytec hnique fédérale, Lausanne, 60p.

- Richieri .F, (2008). « *Développement et paramétrage de contrôleurs d'ambiance multicritères* ». thèse de doctorat, Institut National des Sciences, Lyon, 302p.
- Robert .J et Fabas. L, (2008). « *Guide de la maison économe* ». Ed EYROLLES,Paris. 199 p.
- ROULET, Claude-Alain, (1987). « *Énergétique du bâtiment : Prestations du bâtiment, bilan énergétique global, Collection Gérer l'Environnement* ». Presses Polytechniques Romandes, Lausanne ,37p.
- Sennit .C-A, (2007). « *L'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel - une analyse des politiques des pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée* ». IDDRI, Paris, 16 p.
- Santamouris, M. Demosthenes et Asimakopoulos,N , (2001) .«*Energy and Climate in the Urban Built Environment* ». Ltd, London, 412p.
- Thierry. R, (2012). « *les ponts thermiques dans les bâtiments performants, mutuelle des architectes français assurances, Les fiches d'informations techniques de la MAF* ». sur la RT 2012, Enertech.

Les fichiers PDF et Sites Web :

- Ader, (2011). « *L'énergie dans les bâtiments* », 5p. disponible sur le site : paris.fr/html/calendrier.jsp?t=p&a=2011&ligne=&chmod=false .Consulter le 22/06/2019.
- Agence -France-Electricité, (2015). « *La consommation d'énergie* ». Paris. France. Disponible sur le site : <https://www.agence-france-electricite.fr/consommation-energetique> . Consulté le : 13/03/2019.
- Agdedn, (2010). « *humidité dans le bâtiment Origines et solutions, Maitrise de l'énergie et énergies renouvelables* », disponible sur le site : www.ageden.org : consulté le 27/04/2019.
- Akchiche Zineb, (2011). « *étude de comportement d'une cheminée solaire en vue de l'isolation thermique* ». Energétique et Procédés. Mémoire de magistère. Université Kasdi Merbah Ouargla, P9. disponible sur le site : http://bu.univouargla.dz/AKCHICHE_Zineb.pdf?idthese=552. Consulté le : 19/03/2019.
- Annick .F, (octobre 2016). « *PEB Le "quasi zéro énergie" en ligne de mire* ». Réactif-cahier général, SPW.Belgique.
- Ayoub J, (2008). « *Vers des bâtiments solaires à consommation énergétique nette nulle* ». CanmetÉnergie, Bâtiments et communautés. Publications. Archivée, Canada. disponible sur le site :

http://canmetenergie.rncan.gc.ca/sites/canmetenergie.rncan.gc.ca/files/files/pubs/2011-118_PM--FAC_411-IEAT40_ayoub_f.pdf. Consultée le 28 /12/ 2018.

- Bone structures, (07 juillet 2015). « *Développement durable, tout savoir sur la construction nette zéro* ». *Bloque -Actualites.France*.
- Building efficiency initiative, (2010). « *Des bâtiments intelligents avec une consommation énergétique proche de zéro* ». Paris, 3p. disponible sur le site : <https://buildingefficiencyinitiative.org/articles/des-b%C3%A2timents-intelligents-avec-une-consommation-%C3%A9nerg%C3%A9tique-proche-de-z%C3%A9ro> : Consulté le : 20/05/2019.
- Candanedo Ibarra, J.A, (2011). « *A Study of Predictive Control Strategies for Optimally Designed Solar Homes* ». Thèse de doctorat, Université Concordia, Montréal, Québec, 286 P.
- Chlela .F, (2008). « *Développement d'une méthodologie de conception de bâtiments à basse consommation d'énergie* » Thèse de doctorat, l'Université de La Rochelle. France.
- Dreal Centre-Val de Loire.,(2011).«*Hydrothermie et bâti ancien*».Direction régional de l'environnement et de l'aménagement de logement disponible sur le site : <http://www.centre.developpement-durable.gouv.fr>.consulté le 21/03/2019)
- Daniela Sanna, (2009). « *objectif 2020 : bâtiment a énergie positive. angerce*», France.ADEME.p04. disponible sur le site : http://accompagnementprojets.hespul.org/IMG/pdf/8p_batimentaenergiepositivedbu-2.pdf.) .Consulter le 29/02/2019.
- FOURA S,(2008). « *Simulation des paramètres du confort thermique d'hiver en Algérie*». thèse de Doctorat, p90, 94. disponible sur le site: bu.umc.edu.dz/thèses/architecture/FOU5206.pdf Consulté le : 01/04/2019.
- Guide technique, « *Guide des matériaux isolants pour une isolation efficace et durable*», disponible sur le site : energievie.info .consultée le 19/05/201.
- Izard.J-L. Kaçala.O, (2008), « *le diagramme bioclimatique envirobat-méditerranéenne, laboratoire abc, Esna Marseille*». disponible sur le site: [http:// www.marseille. archi.fr/Izard/](http://www.marseille.archi.fr/Izard/). Consulté le 01/01/2019.
- Livios b, (2016). « *Construction pour l'avenir, info-construction, Combien coute une maison quasi zéro énergie à ossature bois et à quelles primes avez-vous droit* ».disponible sur le site : dewaele.construction. Consultée le 24 mai 2019.

- Morel. N, (2007). « *Edgard G. Énergétique du bâtiment. École polytechnique fédérale de Lausanne* », 98p. disponible sur le site : moodlearchive.epfl.ch/2007-2008/file.php/721/EnerbatIntro07.pdf : Consulté le : 01/06/2019.
- PROSKIW G., (2010). « *Identifying affordable net zero energy housing solutions. In Howell Mayhew Engineering, Inc* ». Reports.

disponible sur le site : http://www.hme.ca/reports/Identifying_Affordable_Net--Zero-Energy_Housing_Solutions.pdf. Consultée le 30/1/ 2019).

- Placo, (2015). « *humidité tout ce qu'il faut savoir* ». SAINT GOBAIN. disponible sur le site: <https://www.placo.fr/Solutions/Solutions-par-benefice/Humidite/Humidite-tout-ce-qu-il-faut-savoir> consulté le 25/02/2019 .Consulté le 01/06/2019.
- SCHL, (2011). « *ÉcoTerra système de commande et de surveillance de la consommation d'énergie. In SCHL. Durabilité. Maison Equilibrium* ». ÉcoTerra. Ressources techniques. disponible sur le site : <http://www.cmhc.schl.gc.ca/odpub/PDF/67310.pdf?Fr=1337180120676>. Consultée le 26 /12/ 2018.
- Service public fédéral emploi, travail et consultation. « *Centre de connaissance belge sur le bien-être au travail* ». disponible sur le site : <https://www.beswic.be/fr/themes/agents-physiques/ambiances-thermiques/indices-de-confort-et-de-contraintethermique/indice-pmv-ppd-de-confort-thermique>).Consulté le 01/06/2019.
- Voss, K., Musall, E., Athientis, A.K., (2011). « *Net Zero Energy Buildings* ». International Projects of Carbon Neutrality in Buildings. Munich, Detail..192 P.

Les articles :

- ORA, 1999 : Journal officiel de la république Algérienne n° 51 du 02/08/1999 J
- JORA, 2004 ,journal officiel de la république Algérienne n° 52 du 18/08/2004
- JORA, 2004 ;journal officiel de la république Algérienne n° 32 du 23/05/2004
- IBGE : Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, (2007), Redéfinir la notion de confort thermique, guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments, recommandation pratique CSS13.)

Annexes

- **Annexe 1.1 : ISO7730**

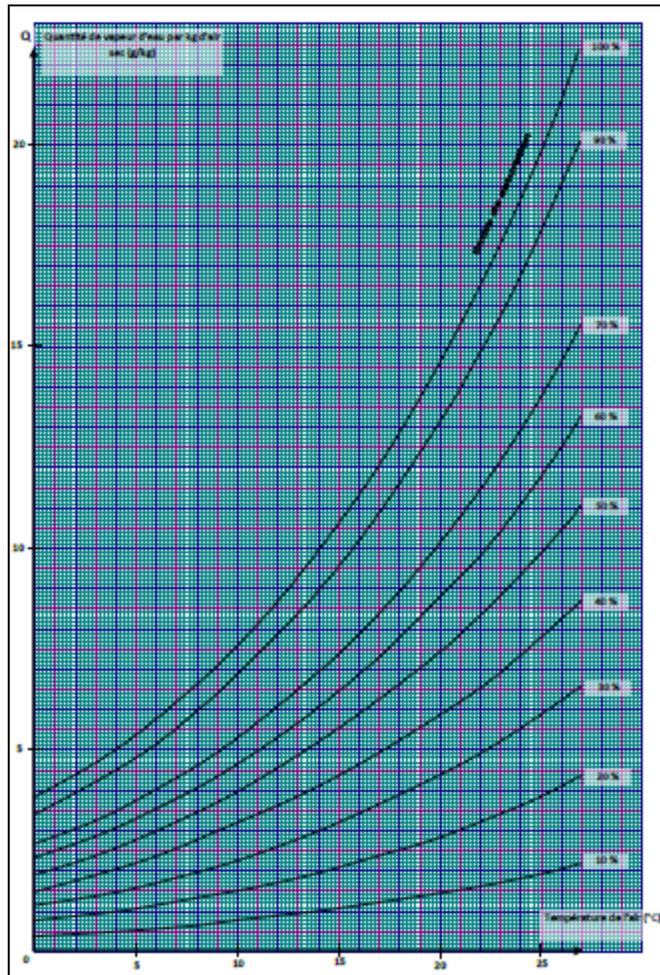
L'ISO 7730 :2005 présente des méthodes de prévision de la sensation thermique générale et du degré d'inconfort (insatisfaction thermique) général des personnes exposées à des ambiances thermiques modérées. Elle permet de déterminer analytiquement et d'interpréter le confort thermique, par le calcul des indices PMV (vote moyen prévisible) et PPD (pourcentage prévisible d'insatisfaits) et par des critères de confort thermique local, donnant les conditions des ambiances thermiques considérées acceptables du point de vue du confort thermique général et les conditions représentant les inconforts locaux.

- **Annexe 1.2 : les zone de confort hygrothermique**

Humidex		 < 29 confortable 30 – 39 inconfortable		 40 – 45 très inconfortable > 46 dangereux > 54 coup de chaleur imminent					
		humidité relative							
t_a °C	25%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
38	42	43	47	54	67	-	-	-	-
37	40	42	45	49	54	55	58	-	-
36	39	40	43	47	51	56	57	58	-
35	37	38	42	45	48	51	54	57	-
34	36	37	41	43	47	49	52	55	58
33	34	36	38	42	44	47	50	52	55
32	33	34	37	39	42	45	47	50	52
31	31	33	35	38	40	43	45	48	50
30	31	31	34	36	38	41	43	46	48
29	29	30	32	34	37	38	41	44	46
28	28	29	31	33	35	37	39	41	45
27	27	28	29	31	33	35	37	39	41
26	26	27	28	29	31	33	35	37	39
25	25	26	27	28	30	32	33	35	37
24	24	25	26	27	28	30	32	33	35
23	23	23	24	25	27	28	30	32	33

* = Beyond the Earth atmosphere's ability to hold water vapor.

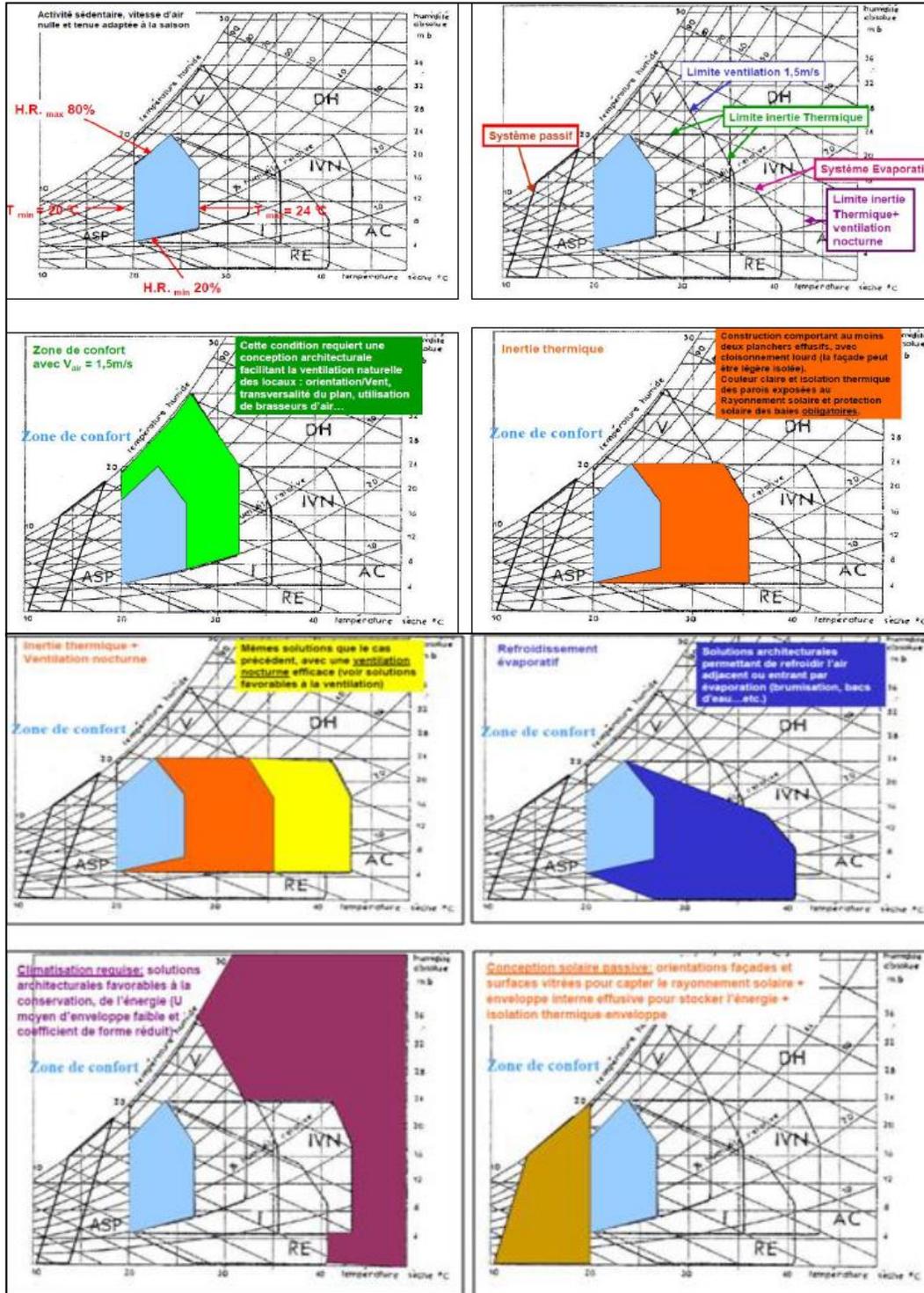
Annexe 1.3 : diagramme de molier



Annexe 1.4 : Pression de vapeur saturante de l'eau

Températures	Ps (Pa)	Températures	Ps (Pa)
0	610.4	16	1807
1	656.6	17	1936
2	705.4	18	2062
3	757.5	19	2196
4	812.9	20	2397
5	871.9	21	2486
6	934.8	22	2643
7	1013	23	2809
8	1072	24	2982
9	1147	25	3167
10	1227	26	3360
11	1312	27	3564
12	1402	28	3779
13	1497	29	4004
14	1597	30	4241
15	1704	31	4492

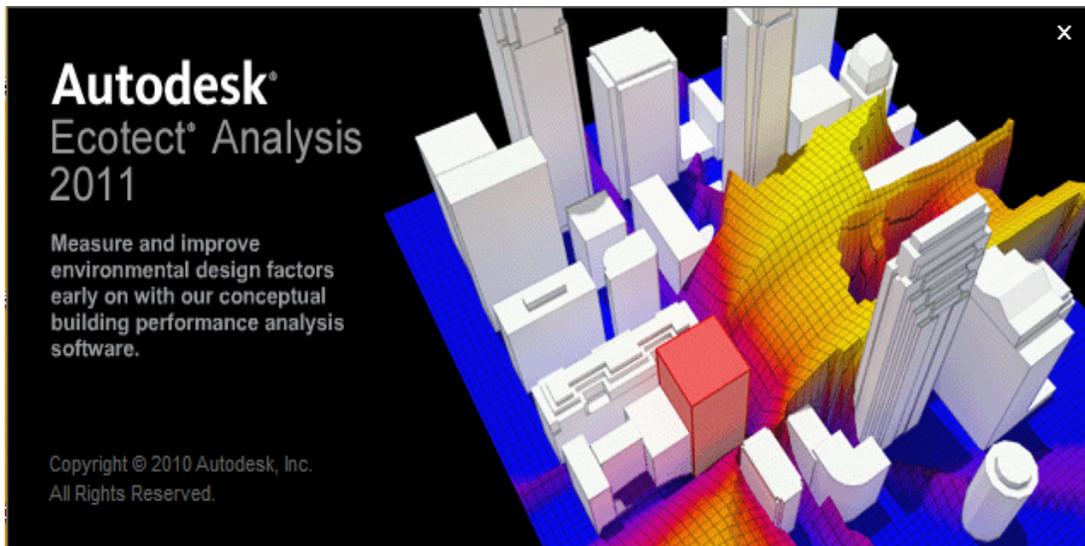
Annexe 1.5 : diagramme de Givoni



Source : BELMAAZIZ Mohamed, 2011, 2012

Annexe 4.1 : Présentation de logiciel de simulation (ECOTECT) :

ECOTECT (V5.50) est un logiciel de simulation complet de conception depuis la phase d'avant-projet jusqu'à celle de détail qui associe un modèleur 3D avec des analyses solaire, thermique, acoustique et de coût. C'est un outil d'analyse simple et qui donne des résultats très visuels. Il a été conçu avec comme principe que la conception environnementale la plus efficace est à valider pendant les étapes conceptuelles du design.



Source : Auteur

Annexe 4.2 : Présentation de logiciel METEONORM

Le logiciel METEONORM permet de disposer pour ECOTECT, des données climatiques fiables chaque heure et durant une année. Si on ne dispose pas d'une station météorologique, METEONORM peut calculer par interpolation entre différentes stations les conditions climatiques d'un lieu.



Source : Auteur

Annexe 4.3 : Types de vitrage

Type de vitrage	Épaisseur [mm]	Poids [Kg/m ²]	U _{vitrage} [w/ m ² k]	Facteur solaire g	Facteur lumineux	R _{atr} (1)	R _a (2)	
	2	5	5,9	0,88	0,91	-	-	
	3	7,5	5,8	0,87	0,90	24	27	
simple vitrage	4	10	5,8	0,85	0,90	27	29	
ordinaire ou trempé	5	12,5	5,8	0,84	0,89	28	29	
ou armé ou durci	6	15	5,7	0,82	0,89	29	30	
	8	20	5,7	0,80	0,87	30	31	
	10	25	5,6	0,78	0,86	31	32	
	12	30	5,6	0,75	0,85	32	34	
	15	37,5	5,5	0,72	0,84	33	35	
simple vitrage clair	6	15	5,7	0,50	0,32	29	30	
réfléchissant bronze	6	15	5,7	0,44	0,18	29	30	
	gris	6	15	5,7	0,42	0,15	29	30
	rose	6	15	5,7	0,51	0,25	29	30
	vert	6	15	5,7	0,36	0,26	29	30
Simple vitrage feuilleté	33.1	6	15,5	5,7	0,79	0,89	30	31
	44.1	8	20,5	5,7	0,77	0,87	31	32
	55.1	10	25,5	5,6	0,75	0,86	32	33
	66.1	12	30,5	5,6	0,73	0,85	32	34
Double vitrage	4+6+4	14	20	3,3	0,75	0,81	27	29
	4+8+4	16	20	3,1	0,75	0,81	27	29
	4+12+4	20	20	2,9	0,76	0,81	27	30
	6+12+6	24	30	2,8	0,72	0,79	30	32
	6+15+6	27	30	2,7	0,72	0,79	28	32
	8+12+8	28	40	2,8	0,68	0,77	31	32
Vitrage à basse émissivité	4+12+4	20	20	1,8	0,64	0,76	27	30
(ou à haut rendement)	4+15+4	23	20	1,5	0,63	0,76	27	30
avec lame d'air	6+12+6	24	30	1,7	0,61	0,74	30	32
	6+15+6	27	30	1,5	0,61	0,74	28	32
Vitrage à basse émissivité	4+12+4	20	20	1,4	0,64	0,76	28	34
(ou à haut rendement)	4+15+4	23	20	1,3	0,63	0,76	28	34
avec argon	6+12+6	24	30	1,4	0,61	0,74	31	36
	6+15+6	27	30	1,3	0,61	0,74	29	36
Double vitrage à isolation acoustique	6+12+33.1	24	30,5	2,8	0,71	0,79	32	36
renforcée	8+6+33.1	20	35,5	3,2	0,68	0,78	34	37
	6+12+44.1	26	35,5	2,8	0,7	0,78	33	37
	8+6+44.1	22	40,5	3,2	0,67	0,77	35	38
	8+12+44.1	28	40,5	2,8	0,67	0,77	35	38
	10+12+44.1	30	45,5	2,8	0,65	0,76	37	41
Vitrage chromogène	On	11	27,5	5,7	0,63	0,75	35	36
	Off	11	27,5	5,7	0,64	0,74	35	36
Triple vitrage	4+8+4+8+4	28	30	2,1	0,67	0,73	?	?
Vitrage réfléchissant	6+12+6	24	30	2,8	0,4	0,7	30	32

Source : institut wallon asbl, types de vitrage

Annexe 4.4 : Déroulement des calculs:

Les calculs seront déroulés selon 4 étapes :

1. Calcule de la densité du flux q on utilisant la formule : $q = Q/S = \Delta T/R_t$ Dont : ΔT : c'est la différence entre T_i ; la température intérieur et T_e ; la température extérieur
2. Calcule des Température aux l'interfaces ; qui dépend de chaque couche et leur disposition, on utilisant la formule suivante $T_n = T_{n-1} - q * R_n$ qu'on a extraite de la formule précédente.

3. Calcule des P_s ; les pressions de saturation et le calcul des P_v ; les pressions de diffusion des vapeurs dans les couches ; sont les deux paramètres choisis pour l'étude de phénomène de condensation. (Les résultats et la méthode de calculs voir les annexes)

En deuxième lieu ; on est effectué une étude complémentaire concernant l'effet de l'isolation (le choix du type) et leur emplacement, en deux parties :

1. L'étude par le coefficient de transfert de chaleur K pour le choix de bon isolant ; dont on exprime les caractéristiques de chacun : pour le polystyrène et de même pour le liège ; le tout se fait à l'aide du pourcentage suivant connaître de quel pourcentage se diminuent les pertes : $(K_1 - K_2) / K_1 * 100$.

2. On a étudié l'influence de l'isolant sur les déperditions de chaleur par le calcul des températures aux interfaces avec l'utilisation de la formule suivante : $T_n = T_{n-1} - q * R_n$ (Les résultats et la méthode de calculs voir les annexes).

ملخص

قطاع البناء هو أصل الاحتباس الحراري العالمي بمعدل 45 ٪ من استهلاك الطاقة . يركز عملنا الحالي على تفكير طويل الأجل الذي يمكن أن يقلل من هذا الاستهلاك حتى يتم إلغاؤه , هدفه هو الحصول على مبنى بدون استهلاك الطاقة, مع تلبية الاحتياجات الحرارية للسكان. تعتبر الراحة الاغروميتيرية أحد الحلول الرئيسية ولن تحدث إلا عن طريق حل مشاكل فقدان الحرارة والتكثيف في الجدران الخارجية التي تسهم في تدهور وتآكل مواد البناء. فجوة الهواء، والعزل الحر، سهل تحقيقه وليس له تأثير مباشر على البيئة، لا تزال غير كافية من حيث كفاءة استخدام الطاقة. وبالتالي فإن العزل الحراري المثالي ليس مفيداً للبيئة. قدم هذا العمل تأكيداً بتخفيض بنسبة 70٪ بسبب استخدام صوف الأغنام في التجديد . يمكن تجميع مجمعات الطاقة الشمسية وأنظمة التخزين الحراري إكمال 30 ٪ المتبقية ، وبالتالي تحقيق الهدف الطاقة صفر. الحصول على النتائج في نهاية المحاكاة العددية بواسطة البرنامج الذي أجري على ورشة الهندسة المعمارية الموجودة في جامعة جيجل . يتم حساب التوازن الحراري وفقاً للقوانين الحرارية للإنشاءات الواردة في الوثيقة الفنية التنظيمية (D.T.R. C3-2), ، يتم تقدير درجة الرطوبة داخل الجدار وفقاً لطريقة Glaser. النتائج التي تم الحصول عليها تشجعنا على استخدام هذه المواد الطبيعية بشكل خاص لتجديد المباني التي بنيت بالفعل بفضل سهولة تجميعها من الخارج.

الكلمات الرئيسية : بنايات الطاقة صفر, الراحة الاغروميتيرية, التكثيف.

Résumé

Le secteur du bâtiment est à l'origine du réchauffement climatique par un taux de 45% de consommation énergétique. Notre actuel travail s'est focalisé sur une réflexion à long terme qui peut réduire cette consommation jusqu'à son annulation, dont le but est d'obtenir un bâtiment à zéro consommation d'énergie, tout en répondant aux besoins hygrothermiques des occupants. Le confort hygrothermique est considéré une des principales solutions et qui n'aura lieu que par la résolution des problèmes déperditions thermique et de condensation dans les parois extérieures qui participent à la dégradation et au pourrissement des matériaux de construction. La lame d'air, l'isolant gratuit, facile à réaliser et qu'il n'a pas d'impact direct sur l'environnement, demeure toujours insuffisant en termes d'efficacité énergétique. L'isolation thermique idéale n'est donc pas seulement avantageuse pour protéger l'environnement, le maître d'ouvrage en profitera aussi. Le présent travail a apporté une confirmation d'une réduction de 70 % suite à l'utilisation de la laine de mouton en rénovation. Le montage des capteurs solaires et systèmes de stockage thermiques pourrait compléter les 30% qui restent, et donc atteindre l'objectif (BZE). Les résultats ont été obtenus à l'issue d'une simulation numérique par le logiciel menée sur un atelier d'architecture situé à l'université de JIJEL. Le calcul du bilan thermique est effectué suivant la réglementation thermique des bâtiments présentée dans le Document Technique Réglementaire (D.T.R. C3-2), l'estimation du degré hygrométrique à l'intérieur de la paroi est faite suivant la méthode de Glaser. Les résultats obtenus nous encouragent à utiliser cette matière naturelle surtout pour la rénovation des bâtiments déjà construits grâce à la facilité de son montage par l'extérieur.

Mots clés : BZE, laine de mouton, confort hygrothermique, condensation.

Abstract

The building sector is causing global warming with a 45% energy consumption rate. Our current work has focused on a long-term thinking that can reduce this consumption until its cancellation, whose goal is to obtain a building with zero energy consumption, while meeting the hygrothermal needs of the occupants. Hygrothermal comfort is considered one of the main solutions and will only take place by solving the thermal losses and condensation problems in the outer walls that contribute to the degradation and decay of building materials. The air gap, the free insulation, easy to achieve and has no direct impact on the environment, is still insufficient in terms of energy efficiency. The ideal thermal insulation is not only advantageous to protect the environment, the owner will also benefit. This work has provided a confirmation of a 70% reduction due to the use of sheep wool in renovation. Mounting solar collectors and thermal storage systems could complete the remaining 30%, and thus achieve the goal (ZEB). The results were obtained at the end of a numerical simulation by the software conducted on an architecture studio located at the University of JIJEL. Calculation of the thermal balance is done according to the thermal regulation of the buildings presented in the Regulatory Technical Document (D.T.R. C3-2), the estimate of the hygrometric degree inside the wall is made according to the method of Glaser. The results obtained encourage us to use this natural material especially for the renovation of buildings already built thanks to the ease of its assembly by the outside.

Key words: BZE, sheep wool, hygrothermal comfort, condensation.