

Université Mohamed Khider – Biskra
Faculté des Sciences et de la technologie
Département : Architecture
Ref :



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم: الهندسة المعمارية
المرجع:

Mémoire présenté en vue de l'obtention
Du diplôme de Magister

Option : Architecture, forme, ambiances et développement durable.

**ÉVALUATION DES PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES
ET DU CONFORT THERMIQUE DANS L'HABITAT :
Cas des logements HPE de l'OPGI de Blida.**

Présenté par :
Mme FERRADJI Kenza

Soutenu publiquement le 18.06.2017

Devant le jury composé de :

Pr. BELAKEHAL Azeddine	Professeur	Président	Université de Biskra
Pr. Mazouz Said	Professeur	Rapporteur	U. Oum El Bouaghi
Dr SRITI Leila	Dr HDR	Examineur	Université de Biskra
Pr. Brima Abdelhafid	Professeur	Examineur	Université de Biskra

Remerciement

Avec l'aide de Dieu tout puissant, j'ai pu accomplir ce modeste travail.

Ce travail du mémoire n'a pu voir le jour sans l'appui et le soutien de nombreuses personnes que je souhaite ici vivement remercier :

Monsieur Mazouz Said, professeur à l'université d'Oum Bouaki, mon encadreur, pour ses corrections évolutives du ce travail ainsi que l'esprit d'initiative et de recherche qu'il a su me transmettre.

Monsieur BELAKEHAL Azeddine, professeur à l'université du Biskra, pour l'honneur qu'il me fait en acceptant la présidence du jury.

Madame SRITI Leila et monsieur Brima Abdelhafid pour avoir accepté de juger ce travail.

Madame Abida Hmouda, docteur à l'université Hadj Lakhder de Batna, pour son aide, conseils et orientation.

Monsieur Bourehla, le chef projet à l'OPJI de Blida, pour la fourniture de la documentation graphique liée au projet Hpe.

Monsieur Mohamed Amara, Chef de la division thermique, et Monsieur Yassine Maouj de CNERIB pour leurs orientations bien précises.

Monsieurs Rafik Bouchakour et Khaled Imessad du CDER pour leur aide.

Monsieur Islam Tibermacine pour son aide qui m'a permet de traverser la phase de la simulation thermique.

Le personnel de la bibliothèque de l'université Mohamed Khider ainsi que ceux de la bibliothèque de l'EPAU à Alger pour leur gentillesse et leur aide.

Mes enseignants et collègues de l'année théorique.

Mes parents qui ont tout fait pour me permettre la réussite dans la vie.

Mon époux pour son soutien physique et moral avec le respect de mes choix dans la vie.

Ma chère sœur pour ses aides.

Mes beaux-parents pour l'aide que j'ai eu de leurs parts surtout durant l'année théorique.

Tous mes amis surtout à Asma et Soumia.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À mes parents.

À mon cher Tarek.

À mes petits Louai et Afuane.

À mes chères sœurs et mes chers frères.

À mes beaux-parents et ma grande mère.

Et à tous ceux qui me sont chers.

Kenza

SOMMAIRE

Liste des figures.....	x
Liste des tableaux.....	xiii
Résumé.....	xiv
Abstract.....	xv
ملخص.....	xvi

CHAPITRE INTRODUCTIF

Introduction	1
Problématique.....	2
Les hypothèses :	2
Objectifs	3
Méthodologies de recherche.....	3
Structure du mémoire :	3

Chapitre un : l'architecture bioclimatique

Introduction	5
I. 1. Définition de l'architecture bioclimatique	6
I. 2. Définition de l'architecture vernaculaire.....	6
I. 3. L'architecture vernaculaire : source d'inspiration :	7
I. 4. Le patrimoine vernaculaire en Algérie :	7
I. 4. 1 Un exemple de l'architecture vernaculaire Algérienne : l'architecture mozabite.....	8
I. 4. 2. Les solutions de l'architecture mozabite	9
I. 5. Développement de la notion " <i>bioclimatique</i> " :	10
I. 5. 1. L'architecture bioclimatique avant la révolution industrielle :	10
I. 5. 2. L'architecture bioclimatique après la révolution industrielle :	10
I. 5. 3. L'architecture bioclimatique après le choc pétrolier 1973 :	10
I. 5. 4. L'architecture bioclimatique aujourd'hui :	11
I. 6. Les principes de base de conception bioclimatique.....	11
I. 6. 1. Le site d'implantation du bâtiment :	12
I. 6. 2. La forme et la compacité :	12
I. 6.3. L'organisation spatiale intérieure	13
I. 6. 4. L'orientation	14
I. 6. 4. 1. L'orientation et l'ensoleillement	15
I. 6. 4. 2. L'ensoleillement et les revêtements extérieurs de l'enveloppe :	16
I. 6. 4. 3. L'orientation par rapport au vent :	17
I. 6. 5. La protection solaire :	18
I. 6. 5. 1. Les types de la protection solaire :	18
I. 7. Les stratégies d'architecture bioclimatique :	18
I. 7. 1. La stratégie de chaud en hiver :	19
I. 7. 2. La stratégie de froid en été.....	19
I. 8. La ventilation :	20
I. 8. 1. Les stratégies de la ventilation naturelle	20

I. 8. 1. 1. La ventilation par une seule façade	21
I. 8. 1. 2. La ventilation transversale.....	22
I. 8. 1. 3. Le tirage thermique (effet de cheminée)	22
I. 9. Le Puits Canadien :	24
I. 9. 1. Définition	24
I. 9. 2. Eléments de conception d'un puits canadiens	25
I. 9. 2. 1. La nature du sol	25
I. 9. 2. 2. Localisation géographique	26
I. 9. 2. 3. Place disponible pour l'enfouissement du conduit et coût.....	26
I. 9. 2. 4. Type de bâtiment et ventilation hygiénique	26
I. 9. 2. 5. Besoins en chauffage et refroidissement	26
I. 9. 3. Les composants d'un puits canadien :	26
I. 10. L'architecture solaire passive :	27
I. 10. 1. Définition :	27
I. 10. 2. La conception solaire passive :	28
I. 10. 3. Les principes d'un chauffage solaire passif :	28
I. 10. 3. 1. Capter :	28
I. 10. 3. 2. Stocker :.....	28
I. 10. 3. 3. Conserver :	29
I. 10. 3. 4. Distribuer :.....	29
I. 10. 4. Réfrigération d'été :	30
I. 10. 4. 1. La protection solaire :.....	31
I. 10. 4. 2. La dissipation de la chaleur :.....	31
I. 10. 4. 4. Refroidissement des locaux :.....	32
I. 10. 5. Les avantages et les inconvénients des procédés solaires passifs :	32
I. 10. 5. 1. Les avantages d'une architecture solaire passive :	32
I. 10. 5. 1. Les inconvénients d'une architecture solaire passive :	33
I. 10. 6. Les recommandations :	33
Conclusion.....	34
Chapitre 2 : L'enveloppe thermique et l'isolation.	
Introduction	35
II. 1. L'enveloppe thermique d'une construction :	35
II. 1. 1. L'évolution historique de l'enveloppe :	36
II. 1. 1. 1. En architecture vernaculaire :	36
II. 1. 1. 2. Durant l'âge moderne :	36
II. 1. 1. 3. Le choc pétrolier de 1973 :	37
II. 1. 2. Les matériaux de construction :	37
II. 1. 3. Propriété et performances thermiques des matériaux :	37
II. 1. 3. 1. La conductivité thermique (λ).....	38
II. 1. 3. 2. La capacité thermique (ρc).....	38
II. 1. 3. 3. La diffusivité thermique (a)	38
II. 1. 3. 4. L'effusivité thermique (b)	38
II. 1. 4. Le vitrage et ses propriétés thermiques	38

II. 1. 5. L'inertie thermique.....	40
II. 1. 5. 1. Les types de l'inertie thermique	40
II. 1. 5. 2. Les effets de l'inertie :	41
II. 1. 6. Les défauts de l'enveloppe thermique.....	41
II. 1. 5. 1. Les ponts thermiques :	41
II. 1. 6. 2. Les défauts d'étanchéité à l'air :	42
II. 2. L'isolation thermique	43
II. 2. 1. Les principes de l'isolation thermique	44
II. 2. 1. 1. L'isolation intérieure :	44
II. 2. 1. 2. L'isolation extérieure :	44
II. 2. 1. 3. L'isolation répartie :	44
II. 2. 2. Les types d'isolant.....	45
II. 2. 2. 1. Les isolants synthétiques :	45
II. 2. 2. 2. Les isolants minéraux :	45
II. 2. 2. 3. Les isolants d'origine végétale :	47
II. 2. 2. 4. Les isolants d'origine animale :	50
II. 2. 2. 5. Les isolantes nouvelles générations :	50
II. 2. 2. 6. L'isolation répartie :	53
II. 2. 3. L'isolation de vitrage et de menuiserie extérieure	54
II. 3. L'isolation thermique en Algérie :	57
II. 3. 1. L'état de lieu :	57
II. 3. 2. La réglementation en isolation thermique	57
II. 3. 3. En voie de la recherche :	58
II. 3. 4. Les types d'isolants disponibles en Algérie :	58
Conclusion.....	59

Chapitre 3 : Le confort thermique

Introduction :	60
III. 1. Définition :	60
III. 2. Les paramètres du confort thermique :	61
III. 2. 1. La température de l'air (T_a) :	62
III. 2. 2. La vitesse relative de l'air :	63
III. 2. 3. La température moyenne radiante (T_p):	64
III. 2. 4. Le Degré hygrométrique de l'air :	64
III. 2. 5. L'activité métabolique :	65
III. 2. 6. La résistance des vêtements.	66
III. 3. Les échanges de chaleur entre le corps humain et l'ambiance environnementale :	67
III. 4. Les approches du confort thermique :	68
III. 4. 1. Approches analytiques (statiques) :	68
III. 4. 1. 1. Aspect physiologique du confort thermique :	69
III. 4. 1. 2. Aspect physique du confort thermique :	69
III. 4. 1. 3. Aspect psychologique du confort thermique :	69

III. 4. 2. Approche adaptative :.....	70
III. 5. Les causes d'inconfort :.....	70
III. 5. 1. Les courants d'air :.....	70
III. 5. 2. L'asymétrie d'un rayonnement thermique :.....	71
III. 5. 3. Le gradient thermique vertical de l'air :.....	71
III. 5. 4. La température du sol :.....	71
III. 6. Stratégies d'évaluation du confort thermique :.....	72
III. 6. 1. Les indices d'évaluation du confort thermique :.....	72
III. 6. 1. 1. Les indice PMV et PPD :.....	72
III. 6. 1. 2. Indice de la température effective :.....	74
III. 6. 1. 3. Indice de la température résultante :.....	74
III. 6. 1. 4. Indice de la température efficace :.....	74
III. 6. 1. 5. Indice de la contrainte thermique :.....	75
III. 6. 1. 6. Température opérative :.....	76
III. 6. 2. Domaine d'application des indices :.....	76
III. 6. 3. Les outils d'évaluation graphique du confort thermique :.....	77
III. 6. 3. 1. Définition du diagramme bioclimatique :.....	77
III. 6. 3. 2. Le diagramme bioclimatique d'Olgay :.....	77
III. 6. 3. 3. Le diagramme bioclimatique de Givoni :.....	79
III. 6. 3. 4. Les tables de Mahoney :.....	80
III. 6. 3. 5. La méthode de Szokolay:.....	82
III. 6. 4. La simulation thermique du confort :.....	82
Conclusion :.....	84

Chapitre 4 :L'expérience algérienne dans le domaine de haute performance énergétique

Introduction	85
IV. 1. La consommation énergétique :.....	85
IV. 1. 1. La consommation énergétique au monde :.....	85
IV. 1. 2. 1. La consommation énergétique par type d'énergie :.....	87
IV. 1. 2. 2. La consommation énergétique par secteur d'activité.....	88
IV. 2. L'état énergétique des systèmes constructifs en Algérie :.....	89
IV. 2. 1. l'état de production des logements en Algérie :.....	90
IV. 2. 2. Les techniques de construction :.....	90
IV. 2. 3. Les matériaux de construction :.....	91
IV. 2. 4. Les problèmes énergétiques liés à la production des logements.....	91
IV. 3. La haute performance énergétique :.....	92
IV. 3. 1. Définition :.....	92
IV. 3. 2. Les principaux réglementations et labels :.....	93
IV. 3. 2. 1. La réglementation française :.....	93
IV. 3. 2. 2. Le label français de haute performance énergétique (HPE):.....	94
3. 3. Classification des bâtiments à efficacité énergétique :.....	95
IV. 4. La politique énergétique dans le secteur résidentiel en Algérie :.....	96

IV. 4. 1. Les lois règlementaires :	97
IV. 4. 1. 1. La loi 09 - 99 du 28 juillet 1999 :	97
IV. 4. 1. 2. Le décret exécutif n° 2000-90 du 24 Avril 2000 :	97
IV. 4. 1. 3. La loi 04 – 09 du 14 Août 2004 :	97
IV. 4. 1. 4. Le décret exécutif 04- 149 du 19 Mai 2004 :	97
IV. 4. 1. 5. Décret exécutif n° 05-16 du 11 janvier 2005 :	97
IV. 4. 1. 6. Arrêté interministériel du 29 Novembre 2008 :	97
IV. 4. 1. 7. Le DTR. C 3 - 2 :	98
IV. 4. 1. 8. Le DTR. C 3 – 4 :	98
IV. 4. 1. 9. Le DTR. C 3. 34 :	98
IV. 4. 2. Les instruments de l'efficacité énergétique en Algérie :	98
IV. 4. 2. 1. L'Agence national pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE) :	98
IV. 4. 2. 2. Fond National pour la Maîtrise de l'Energie (FNME) :	99
IV. 4. 2. 3. Programme national de maîtrise de l'énergie (PNME) :	99
IV. 4. 2. 4. Comité intersectoriel de maîtrise de l'énergie (CME):	100
IV. 4. 3. Les programmes nationaux pour la maîtrise d'énergie :	101
IV. 4. 3. 1. Programme Eco-Lumière :	101
IV. 4. 3. 2. Programme Prop-Air :	101
IV. 4. 3. 3. Programme Top-industrie :	101
IV. 4. 3. 4. Programme Alsol :	101
IV. 4. 3. 5. Programme Eco-Bât :	101
IV. 4. 3. 6. Isolation thermique de 1500 constructions existantes :	102
IV. 5. Des projets d'efficacité énergétique en Algérie :	103
IV. 5. 1. Projet MED-ENEC :	103
IV.5. 2. Le prototype :	104
IV.5. 2. 1. Les caractéristiques énergétiques de la maison :	105
IV.5. 2. 2. Les caractéristiques constructives de la maison :	106
IV.5. 2. 3. La résistance thermique des parois :	106
IV.5. 2. 4. Le chauffage solaire passif :	107
IV.5. 2. 5. Le chauffage actif :	108
Conclusion :	109
Chapitre 5 : présentation du cas d'étude et de la méthodologie de recherche.	
Introduction :	110
V. 1. Présentation de la ville de Blida.	110
V. 1. 1. Situation géographique :	110
V. 1. 2. L'analyse climatique de la région de Blida :	111
V. 1. 2. 1. Les données climatiques de la région de Blida.	112
V. 1. 2. 2. Synthèse de l'analyse climatique.	115
V. 1. 3. Analyse bioclimatique de la ville de Blida.	116
V. 1. 3. 1. Application de la méthode de Szokolay:	117
V. 1. 3. 3. Synthèse de l'analyse bioclimatique.	128
V. 2. Présentation du projet cas d'étude (80 Logements HPE à Blida).	129

V. 2. 1. Le dossier d'exécution :	129
V. 2. 2. Caractéristiques constructives du projet.	135
V. 2. 3. Les solutions techniques énergétiques du projet.	136
V. 3. Présentation de la méthodologie de la recherche :	139
V. 3. 1. Le logiciel de la simulation thermique.	139
Conclusion.	141
Chapitre 6 : Simulation et interprétation des résultats.	
Introduction	141
VI. 1. Description du protocole de la simulation :	141
VI. 1. 1. Le premier cas (logement standard) :	142
VI. 1. 2. Le deuxième cas (HPE).	142
VI. 1. 3. Le troisième cas (HPE amélioré)	142
VI. 2. Le déroulement de la simulation :	143
VI. 2. 1. La création du fichier (.idf) :	143
VI. 2. 2. La création du fichier climatique (.Tm2) :	144
VI. 2. 3. L'ouverture de Simulation Studio :	144
VI. 3. Présentation des résultats de la simulation :	146
VI. 3. 1. Le premier cas (modèle A) :	147
VI. 3. 2. modèle (B) 2 ^{ème} cas :	150
VI. 3. 3. modèle © 3 ^{ème} cas :	153
VI. 3. 3. 1. L'isolation intermédiaire :	153
VI. 3. 3. 2. L'isolation intérieure :	156
VI. 3. 3. 3. Isolation extérieure :	158
VI. 3. 3. 4. L'inertie thermique :	159
VI. 3. 3. 5. L'inertie thermique + l'isolation thermique :	161
VI. 4. La consommation énergétique :	162
VI. 4. 1. Pour le chauffage.	162
VI. 4. 2. Pour la climatisation.	163
Conclusion générale	
Conclusion	164
VII. 1. Conclusion	165
VII. 2. Les recommandations	167
VII. 3. Les axes de recherche	168
Bibliographie	169
Annexe	177

Liste des figures

Chapitre un : l'architecture bioclimatique

Figure 1: la situation du M'Zab	8
Figure 2: une vue sur le M'Zab	8
Figure 3: Impact de la forme, la taille et la proximité sur la compacité.	12
Figure 4: Variation du coefficient de forme.....	13
Figure 5: distribution des espaces selon le trajet solaire.....	14
Figure 6: distribution des espaces sur le trajet solaire.	14
Figure 7: stratégie d'hiver	15
Figure 8: Coefficient d'absorption pour différents matériaux et couleurs.	16
Figure 9: variation de la vitesse du vent par rapport à l'altitude et la nature du sol.....	17
Figure 10: les différents types des protections solaires.....	18
Figure 11: ventilation par une seule façade	21
Figure 12: ventilation transversale.....	22
Figure 13: la ventilation par tirage thermique source:	23
Figure 14: Vue en 3D d'un puits canadien.....	24
Figure 15: la conductivité thermique.....	25
Figure 16: Propriété thermique des principaux constituants d'un sol.	25
Figure 17: les composants d'un puits canadien.....	26
Figure 18: le chauffage solaire passif	30
Figure 19: la réfrigération d'été.....	32

Chapitre 2 : L'enveloppe thermique et l'isolation.

Figure 20: la transmission lumineuse.....	39
Figure 21: l'inertie thermique.....	40
Figure 22: les ponts thermiques	41
Figure 23: les effets des ponts thermiques	41
Figure 24: les déperditions thermiques	42
Figure 25: application d'une isolation intérieure.....	44
Figure 26: l'isolation par l'extérieur	44
Figure 27: l'isolation répartie	44
Figure 28: le polystyrène expansé et le polystyrène extrudé	45
Figure 29: la laine de verre	45
Figure 30: la laine de roche.....	46
Figure 31: le verre cellulaire	46
Figure 32: l'argile expansée.....	46
Figure 33: la vermiculite.....	46
Figure 34: la perlite.....	46
Figure 35: le lin.....	47
Figure 36: les fibres de coco	47
Figure 37: le chanvre.....	47
Figure 38: la laine de coton.....	48
Figure 39: le liège	48
Figure 40: les fibres de bois	49
Figure 41: les roseaux	49
Figure 42: Le torchis.....	49
Figure 43: la toiture végétalisée.....	49
Figure 44: la plume de canard.....	50
Figure 45: la laine de coton.....	50

Figure 46: les isolants réflecteurs multicouches	50
Figure 47: les aérogels.	50
Figure 48: les panneaux isolants sous vide	51
Figure 49: le polyuréthane (PUR).....	51
Figure 50: la peinture isolante en extérieur.....	52
Figure 51: la peinture isolante en intérieur	52
Figure 52: le béton cellulaire	53
Figure 53: Les blocs bi-matières	53
Figure 54: Les blocs mono-murs en pierre ponce :.....	53
Figure 55: Les blocs monomurs en billes d'argile expansée.....	53
Figure 56: Les blocs monomurs en terre cuite	54
Figure 57: Les blocs de coffrage isolant.	54
Figure 58: un comparatif thermique entre les types de vitrage.....	55
Figure 59: la menuiserie en bois.	55
Figure 60: une menuiserie en acier	56
Figure 61: une menuiserie en aluminium.....	56
Figure 62: une menuiserie en PVC.	56
Figure 63: une épingle de chainage.....	58
Figure 64: le polystyrène pour l'isolation extérieur.	58
Figure 65: la perlite.....	58

Chapitre 3 : Le confort thermique

Figure 66: les facteurs influençant le confort thermiques.....	61
Figure 67: Température de confort pour différentes vitesses relatives de l'air et un habillement moyen, d'après Fanger, O.....	62
Figure 68: l'influence de la température des parois sur la sensation du confort thermique.	64
Figure 69: plage du confort pour une activité du bureau.	65
Figure 70: représentation schématique du métabolisme.	66
Figure 71: Température opérative idéale en fonction de l'habillement et du métabolisme.	67
Figure 72: les types de transmission de la chaleur.	68
Figure 73: les défauts d'étanchéité comme sources de courant d'air.....	70
Figure 75: PMV	73
Figure 74: correspondance entre PMV et PPD.	73
Figure 76: PPD la température du confort par rapport au deux activités différents..	73
Figure 77: indice de la température effective.....	74
Figure 78: Mesures du taux de sudation sous l'exposition au rayonnement solaire et corrélation avec l'indice de la contrainte thermique.	75
Figure 79: Zones de confort thermique en fonction de la vitesse de l'air (d'après V. Olgay).....	78
Figure 80: le diagramme bioclimatique d'Olgay.....	79
Figure 81: Diagramme Bioclimatique de Givoni.....	80
Figure 82: le diagramme de Szokolay.....	82
Figure 83: méthode de calcul des logiciel de détermination des données thermique.....	83

Chapitre 4 :L'expérience algérienne dans le domaine de haute performance énergétique

Figure 84: la consommation d'énergie primaire en 2009.....	86
Figure 85: Evolution de la consommation d'énergie au monde (en TEP)..	86
Figure 86: le GES selon le secteur d'activité.	87
Figure 87: les émissions du gaz à effet de serre par habitants..	87
Figure 88: Consommation finale par produits des différents secteurs.....	88
Figure 89: Structure de la consommation finale par secteur d'activité.	89

Figure 90: projet du AADL.....	90
Figure 91: Bureaux à énergie positive, ZAC de bonne, Grenoble.....	96
Figure 92: la relation entre différent instruments de la maîtrise d'énergie.....	100
Figure 94: plan du prototype.....	104
Figure 93: vue du prototype.....	104
Figure 95 : les façades du prototype.....	107
Figure 96: le serpent in du plancher solaire direct.....	108
Figure 97 :Les capteurs solaires dans le prototype.....	108

Chapitre 5 : présentation du cas d'étude et de la méthodologie de recherche.

Figure 98:Situation de la ville de Blida	110
Figure 99: plan de situation.....	111
Figure 100: Zonage d'hiver.....	112
Figure 101: Zonage d'été.....	112
Figure 102:Les valeurs des températures moyennes mensuelles Pour la période (2000- 2010).. ...	112
Figure 103: Les précipitations moyennes mensuelles pour (2000- 2010).....	113
Figure 104: Les valeurs d'humidité relative pour la période (2000- 2010).....	114
Figure 105: Les vitesses des vents moyens mensuels pour la période de 2000- 2010.....	114
Figure 106: Application de la méthode de Szokolay sur le cas d'étude.....	116
Figure 107: Vue du chantier(Août 2014).....	129
Figure 108: Situation du projet.....	129
Figure 109: Plan de masse.....	130
Figure 110: PLAN RDC.....	131
Figure 111: PLAN COURANT.....	131
Figure 112: Coupe AA.....	132
Figure 113: Coupe BB.....	133
Figure 114: Façade principale (Nord).....	134
Figure 115: Façade secondaire (Sud).....	134
Figure 116: Vue d'ensemble en 3d.....	135
Figure 117: détails du traitement des ponts thermiques (liaison poteaux poutres).....	136
Figure 118: habillage des ponts thermiques du plancher.....	136
Figure 119: Agencement des briques en double parois	136
Figure 120: détails d'isolation des différentes parties de la construction	137
Figure 121: détail de protection solaire en auvent de côté Sud	137
Figure 122:Distribution des espaces selon le trajet solaire.....	137
Figure 123: Coupe verticale du puits canadien.....	138
Figure 124: Le circuit d'air par le puits canadien.....	139
Figure 125: détails du puits canadien.....	139
Figure 126: Coupe horizontale du puits canadien.....	139

Chapitre 6 : Simulation et interprétation des résultats.

Figure 127: L'appartement, objectif de la simulation	142
Figure 128: 3d du premier échantillon.....	143
Figure 129: 3d du deuxième échantillon.....	144
Figure 130: l'interface du TRNSYS.....	144
Figure 131: l'interface de TRNBuild.....	145
Figure 132: les caractéristiques des zones en TRNBuild.....	146
Figure 133: les phases en TRNSYS.....	146
Figure 134: simulation d'hiver d'échantillon (A).....	147
Figure 135: tronçon détaillé de la simulation d'hiver.....	148
Figure 136: Simulation d'été d'échantillon (A).....	149

Figure 137: tronçon détaillé de la simulation d'été..	149
Figure 138: Simulation d'hiver du deuxième cas.	150
Figure 139: le tronçon détaillé de la simulation d'hiver.	151
Figure 140: Simulation estivale du deuxième cas.	152
Figure 141: tronçon détaillé de la simulation d'été.	152
Figure 142: Simulation d'hiver d'échantillon (C1).	154
Figure 143: Tronçon détaillé de la simulation d'hiver.	154
Figure 144: Simulation d'été d'échantillon (C1). Source auteur.	155
Figure 145: Tronçon détaillé de la simulation d'été.	156
Figure 146: Simulation d'hiver d'échantillon (C2).	157
Figure 147: Simulation d'été d'échantillon (C2).	157
Figure 148: Simulation d'hiver d'échantillon (C3).	158
Figure 149: Simulation d'été d'échantillon (C3).	159
Figure 150: Simulation d'hiver d'échantillon (C4).	160
Figure 151: Simulation d'été d'échantillon (C4).	160
Figure 152: simulation d'hiver d'échantillon (C5).	161
Figure 153: Simulation d'été d'échantillon (C5).	162
Figure 154: la consommation énergétique des trois cas en hiver.	162
Figure 155: la consommation énergétique des trois cas en été.	163

Liste des tableaux

Tableau 1: la température ambiante minimale par rapport au travail effectué.	62
Tableau 2: les valeurs de référence de la température ambiante.	63
Tableau 3 : valeur de la température opérative selon le degré d'habillement et la nature d'activité.	76
Tableau 4: les tables de Mahoney; la table de recommandations pour le climat de Bagdad (irak) (d'après C. Mahoney).	81
Tableau 5: la réalisation du programme LOGEMENTS HPE.	102
Tableau 6: La résistance thermique des matériaux composant les parois.	106
Tableau 7: les données climatiques de la ville de Blida.	116
Tableau 8: les propriétés thermiques des parois du premier échantillon (A).	177
Tableau 9: les propriétés thermiques des parois du deuxième échantillon (B).	178
Tableau 10: les propriétés thermiques des parois du troisième échantillon (C1).	179
Tableau 11: les propriétés thermiques des parois du troisième échantillon (C2).	180
Tableau 12: les propriétés thermiques des parois du troisième échantillon (C3).	181
Tableau 13: les propriétés thermiques des parois du troisième échantillon (C4).	183

Résumé

La crise économique actuelle, liée à la crise énergétique, exige l'application des solutions dans l'urgence afin d'assurer un développement durable dans le monde.

A l'échelle nationale, l'assurance du confort thermique de l'individu dans son foyer nécessite une surconsommation liée à l'état du système constructif actuel, peu adapté au climat et peu efficient en termes énergétiques. Cet état de fait que le secteur de l'habitat est actuellement en Algérie l'un des secteurs les plus énergivores.

Afin d'améliorer la situation énergétique du secteur résidentiel, l'État algérien a lancé un programme de 600 logements de haute performance énergétique distribué sur 11 wilayas selon la variété climatique de chaque région. Les 80 logements de l'OPGI de Blida sont pris comme cas d'étude du présent mémoire.

L'objectif de cette recherche est d'évaluer l'expérience algérienne dans le domaine de haute performance énergétique au niveau du confort thermique et de la consommation énergétique. La méthodologie consister à utiliser la simulation thermique, par le biais du logiciel TRNSYS, afin d'arriver aux objectifs cités au préalables.

Les résultats obtenus lors de l'investigation ont montré la nécessité d'une amélioration hivernale pour le modèle en HPE avec une satisfaction des solutions liées au confort estival.

L'échantillon amélioré montre que la meilleure disposition, pour assurer le confort thermique en économisant la consommation énergétique, est celle où l'enveloppe est caractérisée par une grande inertie thermique avec une isolation du côté extérieur.

Les mots clés : confort thermique, consommation énergétique, les logements en HPE, isolation thermique, inertie thermique et simulation thermique.

المخلص

الأزمة الاقتصادية الحالية، المتعلقة بالأزمة الطاقوية، تفرض تطبيق الحلول المستعجلة لضمان التنمية المستدامة في العالم.

على المستوى الوطني، ضمان الرفاهية الحرارية للفرد داخل مسكنه تتطلب زيادة في الاستهلاك الطاقوي نتيجة النمط البنائي الحالي قليل التكيف مع المناخ و قليل الفعالية الطاقوية. هذا ما نتج عنه اعتبار قطاع السكن من أكثر القطاعات استهلاكاً للطاقة.

من أجل تحسين الوضعية الطاقوية للسكن، قامت الدولة الجزائرية بإطلاق برنامج 600 مسكن ذو الفعالية الطاقوية العالية موزعة على 11 ولاية حسب التنوع المناخي لكل منطقة. تعتبر الثمانون مسكناً التابعة لمكتب الترقية و التسيير العقاري لولاية البلدة الحالة الدراسية لهذه المذكرة.

الهدف من هذا البحث هو تبيين التجربة الجزائرية في مجال الفعالية الطاقوية العالية على مستوى الرفاهية الحرارية و الاستهلاك الطاقوي. منهجية البحث تعتمد على استعمال المحاكاة الحرارية لأجل الوصول للأهداف المسطرة مسبقاً.

النتائج المتحصل عليها أثناء البحث أثبتت ضرورة التحسين الشتوي للنموذج HPE مع اعتبار الحلول المرتبطة بالرفاهية الصيفية مرضية.

النموذج المحسن يبين أن أحسن وضعية لضمان الرفاهية الحرارية و توفير الاستهلاك الطاقوي هي استعمال الغلاف المتميز بطاقة كامنة حرارية عالية مع وجود عازل حراري خارجي.

الكلمات المفتاحية : الرفاهية الحرارية، الاستهلاك الطاقوي، السكن ذو الفعالية الطاقوية العالية (HPE)، العزل الحراري، الطاقة الكامنة الحرارية و المحاكاة الحرارية.

Abstract:

In order to assure a durable development in the actual word requires the application of urgent solutions.

Nationwide, to assure a thermal comfort (hit and conditional system) for individual home, with result in over using of energy consumption cause the miss conception and design building furthermore the material is unsuitable to the climate, conditions in the region and inefficient in energy term. This state of the housing sector in Algeria is currently one of the most energy-consumption sectors.

To improve the energy situation in the residential sector, the Algerian government has announced 600 high-energy performance housing, this program is distributed over 11 states (Wilayas), depending to the climate characteristics, as case samples of this study we take The 80 OPGI Blida flats building as subject of this memory.

The objective of this study is to assess the Algerian experience in the field of high-energy performance and efficiency level of thermal comfort and energy-saving consumption. The methodology consists of using thermal simulation, through the TRNSYS software as a tool, in order to reach the goals cited in advance.

The results obtained from this study using model HEP showed that the flats project need improvement of energy conception during the winter with satisfaction of solutions for summer time.

In order to insure the terms of comforts and energy-serving conception in this flats building we need to use great thermal inertia install and ameliorate the insulation system from the outside.

Key words: hit a condition system (thermal comforts), energy consumption, flats building HEP, thermo-isolation, thermal inertia and thermal simulation.

Introduction générale.

Introduction

Depuis la naissance de l'humanité, l'homme a toujours essayé de se protéger des aléas du climat (surchauffe d'été, les vents, les pluies...etc.) afin de créer des conditions favorables pour sa vie. En l'absence des sources d'énergie fossile, il était obligé de construire un habitat qui offre le confort durant toute l'année. « *Le climat a toujours joué un rôle déterminant dans la forme bâti* » (Liébard, A. et de Herde, A. 2005). C'est le cas de l'habitat vernaculaire qui peut être considéré comme une source d'inspiration aux architectes contemporains en matière de respect de milieu naturel et du confort offert aux utilisateurs.

A partir de 19ème siècle, l'habitat est développé en profitant du faible coût de l'énergie, de l'essor et du développement des machines thermiques, de l'arrivée des procédés de construction industriels et la recherche de la performance quantitative ou esthétique. (Oliva et Courgey, 2006-2007). Cela ne prend pas en considération la qualité, la durabilité et l'adaptation de l'habitat avec son milieu. « *La standardisation des procédés de construction et la possibilité d'en acheminer partout les produits, offerte par le chemin de fer, ont initié le déclin des modes de production locaux adaptés aux conditions climatiques régionales par de longues traditions* » (Oliva et Courgey, 2006-2007).

En Algérie, le besoin de construire vite, pas cher et dans les brefs délais a poussé les décideurs à mettre l'accent sur des aspects quantitatifs et de solidité structurelle aux dépens du confort d'usage. En quatre décennies d'indépendance, le paysage urbain et architectural des agglomérations a connu un changement brutal. L'habitat produit n'a cessé de poser la problématique de la non prise en compte des facteurs physiques et climatiques dans sa conception, avec par conséquence une consommation excessive d'énergie.

Assurer le confort thermique dans l'habitation durant toute l'année en gardant la même température augmente la consommation des énergies fossiles de secteur du bâtiment qui produit une partie importante des gaz à effet de serre et provoque l'épuisement des sources naturelles de la Terre. Donc, réduire les dépenses énergétiques dans le bâtiment par prendre en considération le climat et le site est au même degré que l'amélioration de qualité d'ambiances intérieures et de rentabilité énergétique.

Problématique

Le besoin urgent d'économiser l'énergie en assurant le confort thermique peut être résolue par le choix de la démarche bioclimatique par le captage des éléments favorable du climat tout en se protégeant de ses éléments néfastes. Il s'agit de rechercher une adéquation entre la conception et la construction de l'enveloppe habitée, le climat et l'environnement avec les modes et rythmes de vie des habitants en trouvant l'adéquation entre le bâtiment, les systèmes de captage et de protection et le mode d'occupation et le comportement des habitants. (Oliva et Courgey, 2006-2007). « *L'architecture bioclimatique utilise le potentiel local (climats, matériaux, main-d'œuvre...) pour recréer un climat intérieur respectant le confort de chacun en s'adaptant aux variations climatologiques du lieu. Elle rétablit l'architecture dans son rapport à l'homme et au climat.* » (Lavoye et De Herde, 2008)

Dans le cadre du programme national pour la maîtrise de l'énergie, 'PNME', l'Algérie lance un projet de réalisation de 600 logements à haute performance énergétique couvrant les différentes zones climatiques du pays. Les OPGI sont désignés en tant que maîtres d'ouvrage. Pour la ville de Blida, 80 logements vont être le cas d'étude de ce travail.

Le présent travail de recherche tente d'évaluer une stratégie basée sur la Haute Performance énergétique (HPE) pour assurer le confort thermique en minimisant la consommation énergétique dans l'habitat.

Donc, comment aborder la haute performance énergétique dans l'habitat et quels sont les stratégies conceptuels pour assurer le confort thermique ?

Les hypothèses :

A cet effet, pour atteindre les objectifs de ce travail, je propose les hypothèses :

1. Une conception bioclimatique peut être considérée comme moyen d'assurer le confort thermique à l'intérieur d'une habitation en minimisant les dépenses énergétiques avec l'utilisation passive de l'énergie solaire.
2. Assurer une enveloppe avec une grande inertie thermique couplée ou pas à une isolation thermique pour assurer un confort gratuit.

Objectifs

Ce travail vise avoir plusieurs fins où les plus importants sont :

Étudier le confort thermique par :

Mettre l'accent sur l'expérience algérienne dans le domaine de la construction bioclimatique.

Assurer l'économie d'énergie par un confort adaptatif qui dépend des comportements des utilisateurs et leurs activités.

Prendre en considération l'étude d'inertie thermique et tester la performance énergétique d'une habitation.

Étudier l'importance d'énergie solaire passive comme remplaçant des énergies fossile.

Évaluer une stratégie de haute performance énergétique par :

Prendre comme cas d'étude le HPE OPGI de Blida.

Élaborer des synthèses et des recommandations en basant sur les avantages et les inconvénients de cas d'étude.

Méthodologies de recherche

Cette recherche consiste à atteindre l'objectif principal qui consiste à évaluer l'expérience Algérienne dans le domaine de haute performance énergétique. L'étude prend en considération le confort thermique intérieur et la quantité d'énergie consommée.

Afin d'arriver aux buts posés au préalable, il s'agit d'utiliser l'instrument de la simulation thermique en utilisant le logiciel TRNSYS.

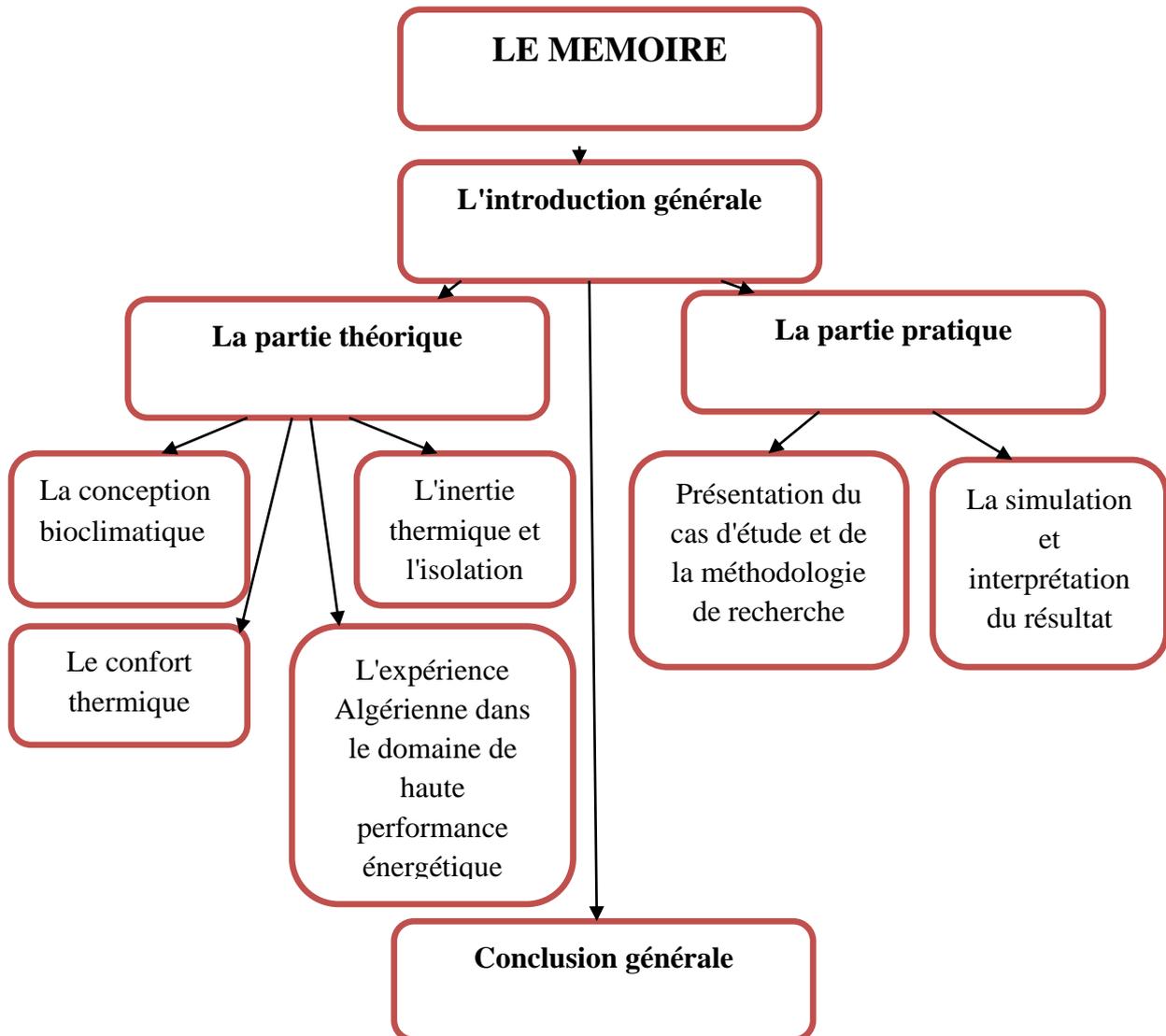
L'investigation est partagée en deux étapes. Une première phase consiste à étudier le confort thermique des échantillons. La deuxième partie prend en considération la consommation énergétique en été comme en hiver.

Structure du mémoire :

Suite à la méthodologie exposée, le présent mémoire se composera de la problématique, la partie théorique et celle pratique. La phase théorique sera présentée par quatre chapitres. Un premier chapitre va traiter la conception bioclimatique. Le deuxième prendra en considération l'inertie thermique et l'isolation. Le troisième chapitre étudiera le confort thermique bien que le dernier de la partie théorique sera sur l'expérience Algérienne dans le domaine de haute performance énergétique.

En passant vers la phase pratique, il s'agit de présenter le cas d'étude et la méthodologie de recherche. Le dernier chapitre du présent mémoire sera sur la simulation thermique et l'interprétation des résultats. Enfin la conclusion générale présentera le résultat de cette recherche et les recommandations sans oublier les axes de recherche afin de compléter les questions restant sans réponses.

La structure du mémoire est présentée sur le schéma suivant :



*Chapitre un : l'architecture
bioclimatique*

Introduction

Construire aujourd'hui, est une des procédures les plus importantes dans la vie de l'homme contemporain. Cela nécessite plein d'efforts et du financement de la conception jusqu'à la finition. Le but de réaliser son abri est de se protéger des conditions climatiques extrêmes et d'assurer le confort nécessaire à l'adaptation à son milieu.

Le secteur bâtiment consomme 40% de l'énergie utilisée par la société. En conséquence, il représente une source non négligeable de la pollution par les systèmes de chauffage et de climatisation qui assurent le confort quelle que soit la conception, performante du point de vue climatique ou pas.

L'architecture bioclimatique, considérée comme une nouveauté, n'est qu'une suite d'une architecture millénaire dite vernaculaire. Cette architecture est ignorée par la généralisation des moyens modernes de chauffage et d'air climatisé suite à l'arrivée de la révolution industrielle et la disponibilité des énergies fossiles, alors que l'architecture traditionnelle a pris en considération les éléments climatiques locaux. (Watson, D. Camous, R. 1983).

Le choc pétrolier de 1973 a provoqué la recherche des solutions dans l'urgence par : l'augmentation de la performance des parois, une nouvelle réglementation et le retour vers une architecture bioclimatique basée sur les spécificités climatiques de chaque région ainsi que les exigences du confort de l'être humain dans le bâtiment (but de conception).

Pour une architecture bioclimatique, il s'agit de faire intervenir le climat lors de la conception. L'habitant est au centre des préoccupations de l'architecte pour assurer son bien être. Le comportement de l'occupant est un des éléments essentiels pour qu'il puisse vivre en symbiose dans son milieu naturel, en s'y intégrant et en le respectant. (Liébard, A. et de Herde, A. 2005). Le but de l'architecture bioclimatique est d'augmenter la performance énergétique des bâtiments en prenant en considération le climat et le site au même degré que les exigences du confort et de la qualité d'ambiance intérieure et la rentabilité.

L'habitat bioclimatique doit tirer parti de son climat pour assurer le confort aux occupants tout en changeant la stratégie selon la saison ; hivernale ou estivale. (Liébard, A. et de Herde, A. 2005).

I. 1. Définition de l'architecture bioclimatique

Le terme bioclimatique est composé de deux parties :

Bio : l'être humain

Climatique : climat

"Le terme bioclimatique fait référence à une partie de l'écologie qui étudie plus particulièrement les relations entre les être vivant et le climat" (Fernandez, P. et Lavigne, P. 2009).

Construire de façon bioclimatique peut se traduire par *"construire en mettant en harmonie le climat avec la biologie humaine"* (Dutreix, A. 2010).

L'architecture bioclimatique est une procédure vise à l'amélioration du confort dans l'espace bâti en induisant de manière naturelle le soleil, l'air et la lumière tous en se protégeant des impacts négatifs du climat extérieur. Elle s'inspire des techniques de constructions anciennes, qui s'adaptaient à l'environnement pour en tirer le meilleur. Il s'agit de capter les rayons du soleil en hiver, s'en protéger en été, ou encore opter pour des matériaux à forte inertie thermique.

Avant de développer la notion de l'architecture bioclimatique, il est nécessaire de remonter dans l'histoire pour revenir à l'architecture vernaculaire.

I. 2. Définition de l'architecture vernaculaire

L'architecture vernaculaire est une architecture sans architectes, spontanée, indigène, rurale, primitive et anonyme. Elle représente une culture populaire qui réalise suite à l'expérience des foyers qui prend en considération le climat et le site. (Guindani, S. et Doepper, U. 1990).

L'habitat vernaculaire est conçue et produite dans et en fonction d'un lieu et d'une culture spécifique. (Alexandroff, G. et J.-M. 1982).

C'est une architecture qui représente l'adaptation de l'habitat et du mode de vie des habitants avec leur environnement climatique. C'est une médiation passive entre les forces extérieures du milieu naturel et leur confort (Guindani, S. et Doepper, U. 1990).

L'étude des habitats vernaculaires permet d'apporter plein d'éléments de connaissance sur l'adaptation de l'abri à son milieu. (Alexandroff, G. et J.-M. 1982).

I. 3. L'architecture vernaculaire : source d'inspiration :

Les dix livres d'architecture de Vitruve ont très bien détaillé l'architecture savante comme une bonne implantation du bâtiment dans son site, un souci d'hygiène par l'utilisation du soleil et la ventilation naturelle. (Fernandez, P. et Lavigne, P. 2009).

Le climat est, depuis toujours, le facteur déterminant pour la construction d'un abri. L'architecture savante est considérée comme une réponse aux exigences climatiques et une protection contre ses effets négatifs. Mais cela n'est plus le seul facteur influençant sur l'architecture vernaculaire, Alain Liébard et A. De Herde, citent les matériaux disponibles, l'état de la technologie, l'organisation du travail et les rapports sociaux comme d'autres éléments contribuant à l'évolution de l'architecture vernaculaire. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005).

L'être humain a essayé de répondre, depuis des milliers d'années, aux exigences de son confort thermique. Cela a pris de long siècles pour qu'il puisse trouver les solutions les plus simples mais très adéquates. (Dutreix, A. 2010).

L'étude de l'architecture vernaculaire, de sa morphogénèse, donne aux architectes contemporains l'occasion d'en dégager des leçons profondes afin d'élaborer un modèle moderne qui répond aux besoins d'aujourd'hui. (Guindani, S. et Doepper, U. 1990). Cette architecture du lieu a servi comme un modèle pour les premiers concepteurs de l'architecture solaire. (Fernandez, P. et Lavigne, P. 2009).

Les astuces de nos ancêtres est de s'inspirer des conditions locales pour répondre aux facteurs climatiques. Le choix de l'endroit d'implantation, par exemple, est pour assurer une protection naturelle contre les vents d'hiver et le soleil d'été tout en profitant de l'ensoleillement hivernal. (Courgey, S. et Oliva, J. P. 2007).

I. 4. Le patrimoine vernaculaire en Algérie :

Selon la division géographique de l'Algérie, l'architecture vernaculaire se diversifie selon les spécificités climatiques, régionales et culturelles :

Dans le nord en climat méditerranéen, La Casbah d'Alger demeure un modèle d'adaptation de l'architecture vernaculaire au site et au climat.

Dans les hauts plateaux, les maisons kabyles et auessiennes représentent des modèles d'adaptation aux régions montagneuses.

Enfin, dans le grand Sahara, c'est l'architecture des ksours.

Les exemples cités ci dessus montrent que l'architecture vernaculaire en Algérie peut être le fondement d'une architecture bioclimatique contemporaine.

I. 4. 1 Un exemple de l'architecture vernaculaire Algérienne : l'architecture mozabite.

L'architecture vernaculaire Mozabite est un exemple d'une architecture saharienne du sud Algérien.



Figure 2: une vue sur le M'Zab

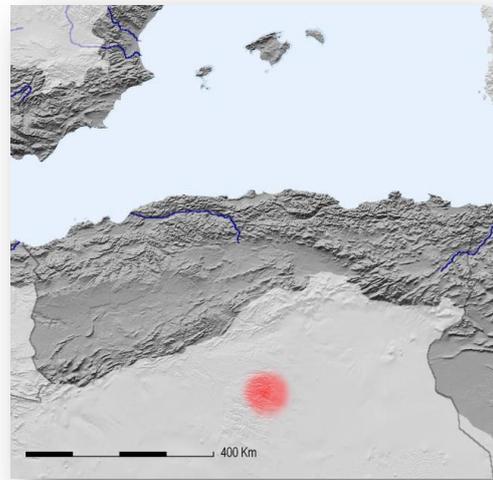


Figure 1: la situation du M'Zab

Le M'Zab est une région située à 550 km au sud d'Alger sur un plateau rocheux dont l'altitude varie entre 300 et 800 mètre. C'est dans le creux de l'oued M'Zab sur des pitons rocheux. Le M'Zab appartient tout entier au climat désertique avec une faible moyenne des précipitations atmosphériques, presque 67 mm seulement. Certaines années sont à peu près sèches. Étant donné la basse latitude et l'altitude modérée, la température est très élevée en été (50°C), très fraîche en hiver (moins 1°C). (Dutreix, A. 2010).

En hiver comme en été, la variation diurne de la température est importante, étant donné la sécheresse parfaite de l'atmosphère. Pour la même raison, la luminosité est intense. Des vents de sable venant du Sud-ouest accentuent périodiquement la sécheresse du climat. Ils sont particulièrement fréquents et violents à la fin de l'hiver et au début du printemps. (Dutreix, A. 2010).

L'homme mozabite a réussi depuis des milliers d'années à trouver des solutions à son climat trop sévère. La température intérieure ne dépasse jamais les 30 °c en été et ne descend pas en dessous de 15°c en hiver malgré l'absence de l'isolation, de chauffage, ...etc.

Les habitats de M'Zab sont caractérisés par :

L'utilisation d'argile crue séchée au soleil comme matériaux de construction.

Une base carrée ou légèrement rectangulaire de la construction.

La couverture des murs extérieurs par de tons pastel pour éviter les réverbérations du soleil.

Une enveloppe fermée sauf de très étroites fenêtres basses.

Une porte lourde en palmier s'ouvre sur une chicane qui conduit à un patio carré semi ouvert.

Un étage ou il y'a les chambres ouvertes sur le patio et un espace central utilisé comme séjour en automne et au printemps. (Dutreix, A. 2010).

I. 4. 2. Les solutions de l'architecture mozabite

La conception des ksour n'est plus une production d'élite mais exprime le produit d'une culture de masse nourrie de la quotidienneté, de l'environnement et de génie local. (Djeradi, M. A. 2012).

La maison mozabite est réalisée par une typologie à patio. Cela permet à la construction de respirer par l'intérieur en contrôlant la quantité de la chaleur introduite. Le patio est, généralement, couvert sur sa plus grande surface par une ouverture appelée "*Chebek*" en haut et au centre, qui donne à ce dernier de l'air et de la lumière. (Delheure, J. 1986 cité par Dutreix, A. 2010).

L'utilisation des épais murs en terre crue renforcés par le bois de palmier donne à l'enveloppe une grande inertie thermique. La température confortable du sol permet aux mozabites de manger et dormir au dessus en été afin de supporter leur climat peu clément. La terrasse en deuxième étage, pour dormir en nuit, est une autre solution afin de s'intégrer à ce climat par le nomadisme saisonnier. (Dutreix, A. 2010).

Dans le Ksar, les ruelles sont étroites pour protéger les utilisateurs de vent de sable violent et limiter les rayons solaires brulants sur les murs et les sols. Les lieux publics, comme les mosquées, sont construites sous terre afin de les protéger contre les rayons solaires intenses d'été. (Dutreix, A. 2010).

La maison mozabite présente un modèle d'adaptation par excellence à un climat considéré parmi les plus durs de la planète surtout en été où la température peut dépasser les 50°C. Cela explique la volonté de se protéger dans une période historique où il n'y avait pas d'autres solutions.

I. 5. Développement de la notion "bioclimatique" :

Un aperçu historique sur l'architecture bioclimatique donne les phases suivantes :

I. 5. 1. L'architecture bioclimatique avant la révolution industrielle :

Les anciens considéraient que la conception bioclimatique d'une maison ou d'un immeuble, c'est du simple « *bon sens* » ou comment ouvrir plus au Sud et minimiser les ouvertures au Nord. Socrate déjà en parlait : « *quand les maisons regardent le midi en hiver, le soleil ne pénètre-t-il pas sous les galeries extérieures, et passant au-dessus de nos têtes et par-dessus les toits en été, ne nous procure-t-il pas de l'ombre ?* ». Les premières maisons passives en Islande au 17^{ème} siècle, elles sont recouvertes de toitures végétales. (<http://infos.trouver-un-logement-neuf.com/>).

Les pratiques traditionnelles, pour lutter contre le froid et la chaleur, étaient avant la révolution industrielle par des dispositifs d'occultation de la chaleur et une facilitation de la ventilation nocturne en été et l'utilisation d'une grande inertie thermique. (Courgey, S. et Oliva, J. P. 2007).

I. 5. 2. L'architecture bioclimatique après la révolution industrielle :

Au début du 20^{ème} siècle, l'apparition de la cité jardin par des architectes européens comme Tony Garnier, ont cherché d'assurer les conditions minimum d'ensoleillement des logements pour des raisons hygiéniques, après cela la construction a été submergée par le développement des énergies pétrolières et gazières et l'apparition des nouveaux moyens de transport routière et ferroviaire. (<http://infos.trouver-un-logement-neuf.com/>).

D'un autre côté, la révolution industrielle était le passage du bon sens de la construction à la généralisation de l'air conditionné. Les causes de ce passage sont la facilitation de transport du combustible, le besoin de créer une température homogène dans l'espace et l'inconscience du coût réel du combustible. (Courgey, S. et Oliva, J. P. 2007).

I. 5. 3. L'architecture bioclimatique après le choc pétrolier 1973 :

Le choc pétrolier de 1973 a été causé par l'augmentation excessive de la consommation énergétique jusqu'au double dans le bâtiment. Cette augmentation est suite à l'accroissement du nombre des occupants, de la surface moyenne par habitant et de la proportion des espaces chauffés dans chaque

habitat avec le niveau haut des températures moyennes dans les logements. (Courgey, S. et Oliva, J. P. 2007).

Cette période a connu la naissance de l'architecture solaire passive, le solaire actif et le bioclimatique selon le cas. L'objectif étant de réduire ou d'annuler le recours aux énergies non renouvelables à base du combustible fossile ou nucléaire et l'utilisation des matériaux de construction selon leurs caractéristiques thermiques. (Fernandez, P. et Lavigne, P. 2009).

Cette crise a relancé l'intérêt du solaire (capteurs et panneaux), mais aussi de l'architecture solaire.

I. 5. 4. L'architecture bioclimatique aujourd'hui :

Dans les années 80, une nouvelle conception de l'architecture bioclimatique se développa, considérant que l'habitat participait également à la santé de ses habitants. Les isolants traditionnels (polyuréthane, laines minérales, etc..) furent remplacés par des isolants sains (laines de chanvre, laine de mouton etc..). Aujourd'hui, l'architecture bioclimatique cherche à être la solution la plus répondante pour trouver les solutions des crises actuelles et contribuer à préserver les éléments naturels de la planète. (<http://infos.trouver-un-logement-neuf.com/>).

En Juin 1992, le sommet de Rio, sur le développement durable, était pour découvrir les nombreuses pistes ouvertes par les pionniers de l'architecture bioclimatique afin d'engendrer des constructions de haute performance énergétique. (Courgey, S. et Oliva, J. P. 2007).

I. 6. Les principes de base de conception bioclimatique.

Afin d'élaborer un projet architectural bioclimatique, l'architecte doit suivre certains nombres des procédures pour répondre aux exigences liées au climat et de confort.

L'architecture bioclimatique recherche à construire et vivre avec le climat et non contre lui :

- ✓ En période hivernale : Favoriser les apports de chaleur.

Éviter les pertes calorifiques.

- ✓ En période estivale : Diminuer les apports thermiques.

Favoriser le rafraîchissement.

I. 6. 1. Le site d'implantation du bâtiment :

Le site est l'environnement proche d'un bâtiment. L'implantation judicieuse d'un édifice est la tâche la plus importante de l'architecte. Elle détermine l'éclairément, les apports solaires, les déperditions et les possibilités d'aération. (Liébard, A. et Deherde, A. 2005). La localisation d'un bâtiment joue un grand rôle dans la conception bioclimatique dont le site peut contribuer à l'amélioration du confort des occupants.

Les buts du concepteur en bioclimatique sont d'exploiter les potentialités du site, contourner ses contraintes défavorables et accorder les ambiances dans le bâtiment au microclimat du lieu. (Fernandez, P. et Lavigne, P. 2009).

Selon Pierre Fernandez, réussir l'insertion du bâtiment revient à exploiter le potentiel du site et procéder à l'analyse de l'interaction du projet avec les éléments caractéristiques du ce dernier comme le relief, le contexte urbain, le type de terrain, la végétation, l'ensoleillement et le vent. (Fernandez, P. 1996 cité par Mazari, M. 2012).

Une bonne conception bioclimatique consiste à tirer partie d'ensoleillement naturel en hiver en se protégeant des vents froids. En été, il s'agit de protéger la construction des rayons solaires intenses en favorisant la ventilation naturelle. L'éclairage naturel est prépondérant en permettant la visibilité vers l'extérieur.

Pour Edward Mazria, l'implantation d'un bâtiment dans la partie nord d'une parcelle dégagée permet de faire bénéficier ce bâtiment des rayons solaires en hivers pendant les heures d'ensoleillement maximum du côté sud. (Mazria, E. 2005)

I. 6. 2. La forme et la compacité :

Les parois d'un bâtiment sont principalement captrices ou bien déperditives

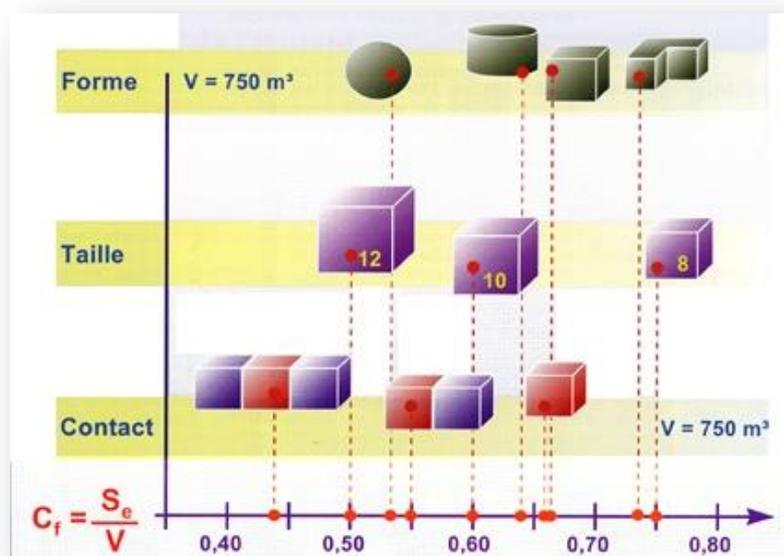


Figure 3: Impact de la forme, la taille et la proximité sur la compacité. Source : Liébard, A. et Herde, A. D. 2005

selon l'orientation. (Courgey, S. et Oliva, J. P. 2007). La recherche d'une diminution de la surface de contact avec l'intérieur et l'extérieur permet d'augmenter la performance énergétique.

V. Olgyay affirme que la forme optimale d'un corps du bâtiment correspond à celle qui lui permet de perdre un minimum de chaleur en hiver et d'en gagner un minimum en été. (Chelghoum, Z. 2006).

Le coefficient de forme est le rapport entre la surface des parois en contact avec l'extérieur sur le volume à chauffer. (Mazouz, S. 2012)

$$Cf = S/V$$

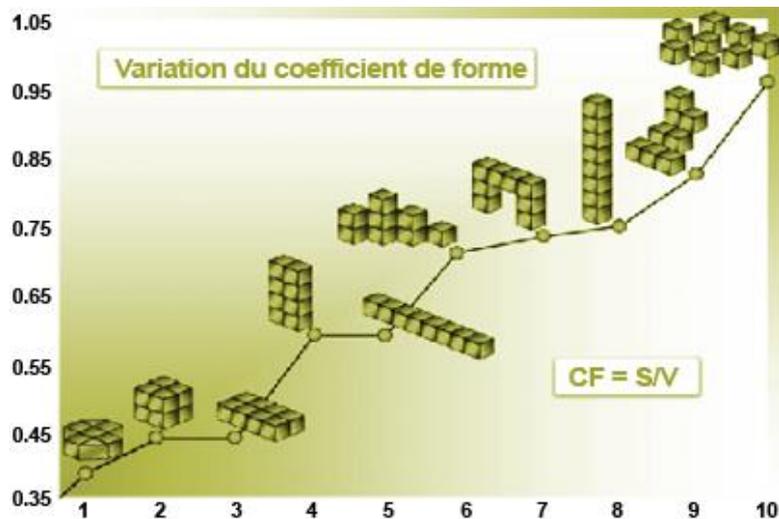


Figure 4: Variation du coefficient de forme. Source <http://www.auxanceboiscreation.com/>

Avec

Cf: Coefficient de forme.

S : Surface. V : volume.

Ce rapport est plus petit lorsque la surface des parois extérieures diminue par rapport au volume intérieur donc une grande habitation possède moins de surfaces de déperdition qu'une petite. (Chelghoum, Z. 2006).

Ou bien l'enveloppe présentant la plus faible surface des parois extérieures sera celle présentant le moins des déperditions thermiques. (Courgey, S. et Oliva, J. P. 2007).

I. 6.3. L'organisation spatiale intérieure

La disposition des zones habitables dépend de la nécessité thermique de chaque espace dont il existe des zones qui nécessitent plus du confort que d'autres non habitables ou rarement utilisés qui peuvent être des espaces tampons pour protéger la partie habitable de l'habitat.

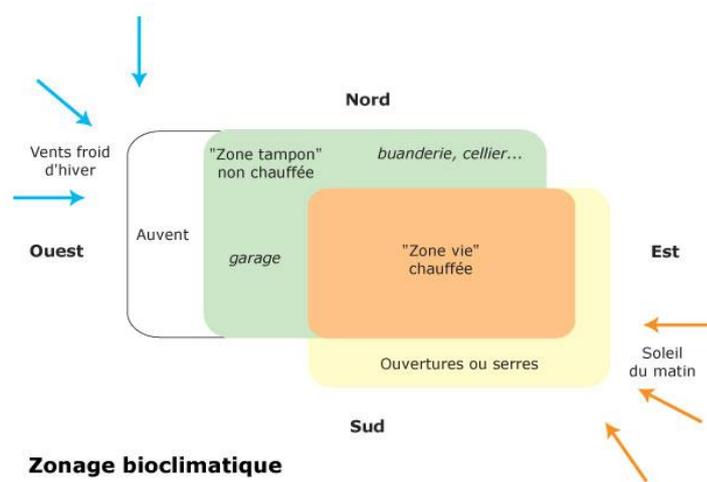


Figure 5: distribution des espaces selon le trajet solaire.
Source <http://www.forumconstruire.com/>

Cela peut rendre n'importe quelle maison énergétiquement plus économique en distribuant les différentes fonctions dans le plan selon la trajectoire du soleil. (Watson, D. et Camous, R. 1983).

Le zonage permet de mieux visualiser le rapport entre les occupants et les rythmes climatiques dont il réintroduit le nomadisme saisonnier.

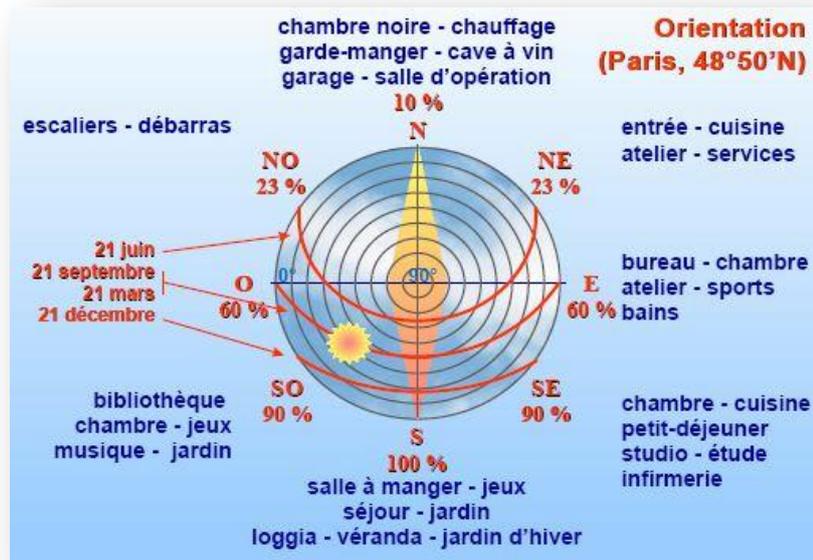


Figure 6: distribution des espaces sur le trajet solaire.
Source : Liébard, A. et Herde, A. D. 2005

Les serres aussi peuvent être considérées comme un espace tampon en protégeant les parois vitrées. (Liébard, A. et A.Deherde, 2005). Les espaces tampons jouent le rôle d'un isolant thermique supplémentaire. (Cabirol, T. et Roux, D. 1984).

I. 6. 4. L'orientation

L'orientation d'une construction est la direction vers laquelle sont tournées ses façades. Selon B. Givoni le choix de l'orientation est soumis à plusieurs critères, telle que la vue dans différentes

directions, la position du bâtiment par rapport aux voies, la topographie de site, la position des nuisances et la nature du climat. (Givoni, B. 1978).

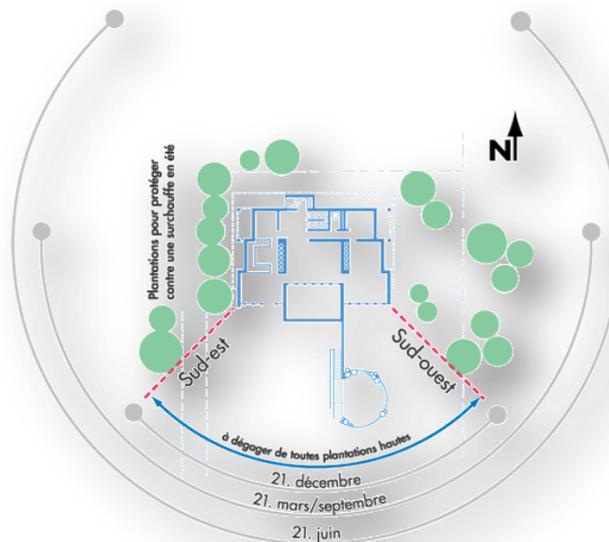


Figure 7: stratégie d'hiver source www.polenergie.org

L'orientation d'un Bâtiment répond aux besoins en lumière naturelle, rayonnement solaire pour chauffer ou pour s'en protéger et des vents afin de rafraîchir en été ou pour éviter les déperditions en hiver. (Liébard, A. et A.Deherde, 2005).

L'orientation influe sur l'ambiance intérieure par deux manières selon B. Givoni :

« *Le rayonnement solaire et ses effets d'échauffement sur les murs et les pièces orientées selon différentes directions* ». (B. Givoni 1978).

« *Les problèmes de ventilation en rapport avec la direction des vents dominants et l'orientation de la construction* ». (B. Givoni 1978).

Le choix définitif d'une telle orientation par rapport à une autre est selon les avantages de chaque facteur. Cela est déterminé par la température de l'air ambiant et le degré d'humidité. (B. Givoni 1978).

I. 6. 4. 1. L'orientation et l'ensoleillement

L'ensoleillement est caractérisé par la trajectoire du soleil et la durée d'ensoleillement qui varie selon l'heure journalière et la saison.

Quelle que soit la latitude en zone qui appartient à la moitié nord de la planète, c'est la façade sud qui reçoit le maximum de rayonnement solaire en hiver et le minimum en été (S. Courgey J. Oliva 2007).

Dans son livre « *Design with climate* », Victor Olgyay a considéré, suite à des expériences des différentes formes et orientations dans plus d'un climat aux Etats-Unis, que le carré est une mauvaise forme lors d'une conception bioclimatique bien que la forme allongée nord-sud est moins efficace que la forme carré. Alors que la forme allongée est-ouest présente la meilleure configuration en été comme en hiver et dans tous les climats situés en partie nord de la planète. (V. Olgyay 1978 cité par E. Mazria 2005).

L'effet thermique de l'orientation n'a pas un grand sens s'il n'est pas fait référence à la couleur de l'enveloppe.

I. 6. 4. 2. L'ensevelissement et les revêtements extérieurs de l'enveloppe :

L'orientation des parois et de la toiture d'un bâti par rapport au soleil permet au concepteur d'intervenir sur la qualité des revêtements et la couleur des faces extérieures. Cela est pour influencer le niveau du confort intérieur en minimisant le facteur d'absorption et

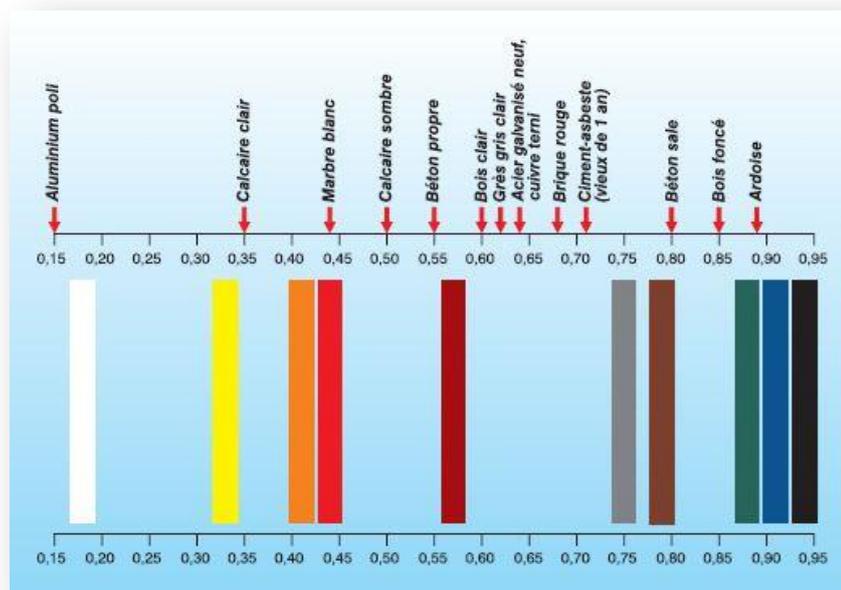


Figure 8: Coefficient d'absorption pour différents matériaux et couleurs.
Source : A. Liébard et A. D. Herde 2005

en augmentant le facteur d'émission. La couleur claire des façades extérieures présente, en climat chaud, une contribution à la protection solaire de la construction. Bien que la couleur sombre favorise l'accumulation de la chaleur absorbé, donc l'élévation de la température à l'intérieur de l'espace. Un entretien permanent des façades extérieures contre les moisissures, les salissures et le vieillissement naturel permet de conserver sa qualité protectrice contre l'effet de la surchauffe en été. (Liébard, A. et Deherde, A. 2005).

I. 6. 4. 3. L'orientation par rapport au vent :

L'orientation des bâtiments vis à vis de la direction des vents dominants a vraisemblablement une influence considérable sur le refroidissement et la ventilation intérieure. (Givoni, B. 1978).

Le vent est un déplacement d'air, généralement horizontal, d'une zone de haute pression située dans la partie du bâtiment exposée au vent à une autre de basse pression disposée sur l'autre côté du bâtiment. La toiture est toujours soumise à la dépression.

La force thermique peut aussi provoquer des mouvements d'air autour d'un bâtiment. Les différences de températures et de pression peuvent s'établir sous l'effet de rayonnement solaire entre une zone ensoleillée et une zone à l'ombre. L'air chaud a tendance de s'élever car il est plus léger en créant une petite dépression au sol pour qu'il soit remplacé par de l'air froid. (Chelghoum, Z. 2006).



Figure 9: variation de la vitesse du vent par rapport à l'altitude et la nature du sol.
Source : Liébard, A. et D. Herde, A. 2005

En plus de la considération de l'ensoleillement et l'effet des vents sur les ambiances intérieures, l'éclairage naturel est un des facteurs motivants le choix de l'orientation.

I. 6. 5. La protection solaire :

La protection solaire possède un double rôle dans un habitat bioclimatique. Elle consiste à isoler la vitre thermiquement durant les nuits d'hiver et protéger la construction des rayons solaires intenses durant les journées d'été. (Cabirol, T. et Roux, D. ; 1984)

I. 6. 5. 1. Les types de la protection solaire :

Il existe trois types des protections solaires :

Les protections fixes :

Ils sont efficaces pour les ouvertures orientées vers le sud, il s'agit d'un avancement de la toiture, un retrait du plancher, ou un Balcon...etc. (Cabirol, T. et Roux, D. 1984). Ce type de protection permet de chauffer passivement en hiver et de protéger des rayons solaires intenses d'été.

Les protections végétales :

C'est l'utilisation des arbres à feuilles caduques qui assure la meilleure végétation en été ou le besoin de protéger des rayons solaires est grand. (Cabirol, T. et Roux, D. 1984).

Les protections mobiles :

Ce type de protection est par des volets de protection thermique, des lames fixes, des stores vénitiens...etc. L'emplacement des protections doit être à l'extérieur du vitrage pour éviter que la vitre soit un capteur solaire. (Cabirol, T. et Roux, D. 1984).



Figure 10: les différents types des protections solaires.

Source Liébard, A. et Herde, A. D. 2005

I. 7. Les stratégies d'architecture bioclimatique :

Afin de régulariser le confort de l'occupant de l'espace suivant le climat extérieur, la conception bioclimatique se décompose en trois sous conception. Une conception pour l'hiver, il s'agit de la

stratégie de chaud en hiver. Une autre conception pour l'été, c'est la stratégie de froid en été. La dernière conception est pour l'éclairage naturel.

I. 7. 1. La stratégie de chaud en hiver :

En hiver, le bioclimatisme a pour objectif de maximiser les apports naturels d'énergies et diminuer les déperditions liées à l'architecture. (Molle, D. et M. Patry, P. 2011).

Favoriser les gains solaires par positionner les ouvertures en priorité au sud ou l'ensoleillement est maximum. Cela minimise la consommation de l'énergie et augmente le confort. (Molle, D. et Patry, P. M. 2011).

Bien positionner les pièces de vie (chambres et séjour) sur la façade sud et les autres espaces sur la façade nord (espaces tampons).

Éviter les déperditions vers l'extérieur par la compacité du bâtiment et le bon traitement des ponts thermiques.

Déphaser les variations périodiques de température par l'inertie de bâtiment.

Limiter les mouvements d'air extérieurs.

I. 7. 2. La stratégie de froid en été.

En été, la température extérieure élevée durant la journée (selon le climat) sous l'effet des rayonnements solaires intenses et durant plus du temps provoque des surchauffes à l'intérieur. Un bon confort d'été nécessite une bonne conception bioclimatique.

La protection du rayonnement solaire direct et indirect.

La réduction des apports internes en chaleur par :

L'utilisation maximale de l'éclairage naturel.

L'utilisation des équipements électriques de classe énergétique A.

Limiter les transferts de chaleur.

Déphaser les variations périodiques de température par l'inertie thermique du bâtiment.

Favoriser le refroidissement par ventilation nocturne.

Favoriser le refroidissement par évaporation.

I. 8. La ventilation :

La ventilation intérieure est une des facteurs très importante pour l'hygiène de l'homme et son bien-être. Elle a une influence directe sur le corps humain par l'effet physiologique de la pureté de l'air et de ses mouvements et indirecte par la température de l'air ambiant et son degré d'humidité. (Givoni, B. 1978).

Dans la littérature, la ventilation naturelle est définie comme étant le mouvement d'air qui s'effectue à travers un espace sans l'influence d'appareillage mécanique.

C'est l'action de produire une circulation ou un courant d'air et assurer sa répartition dans le milieu considéré. Elle est provoquée par la différence de pression entre deux orifices du gros œuvre dues aux mouvements du vent sur et autour de l'enveloppe et par la différence entre la température intérieure et celle extérieure. (Belakehal, A. de site [www. univbiskra. com.](http://www.univbiskra.com)).

La ventilation a pour objectifs :

D'évacuer l'air vicié et le remplacer par un air sain.

De participer à la pérennité du bâtiment en évacuant l'humidité ; source de détérioration.

De permettre le rafraîchissement en été pour améliorer le confort.

En hiver, il faut minimiser le débit de ventilation pour éviter les déperditions thermiques alors qu'en été, il est important de minimiser le débit de ventilation durant la journée lorsque la température extérieure est plus élevé que la température intérieure et l'augmenter durant la nuit par le free-cooling.¹

Le but de la ventilation est d'améliorer la qualité d'air intérieur en réduisant la consommation énergétique.

I. 8. 1. Les stratégies de la ventilation naturelle

Il existe plusieurs stratégies de la ventilation naturelle, les trois les plus importantes sont :

¹ free-cooling: il s'agit de la ventilation nocturne.

I. 8. 1. 1. La ventilation par une seule façade

C'est le mode le plus simple de la ventilation naturelle dont l'air extérieur entre par une ouverture et sort de la même ouverture ou d'une autre ouverture sur la même façade.

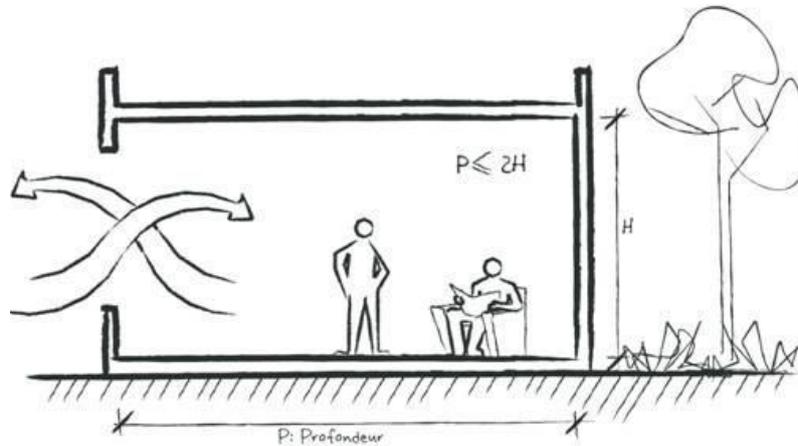


Figure 11: ventilation par une seule façade source Raoust, M. (Terao) et al

Le modèle empirique qui permet l'évaluation des débits d'air dans une configuration d'une simple exposition au vent : $V_{\text{eff}} = (C_1 + V_r + C_2 H \Delta T + C_3)^{1/2}$ (Dutreix, A. 2010).

Avec :

V_r : Vitesse moyenne réelle du vent (m/s).

H : Hauteur de l'ouvrant (m).

ΔT : Ecart moyen de température entre l'intérieur et l'extérieur.

Le coefficient $C_1 = 0.001$ est en fonction de type d'ouvrant.

$C_2 = 0.0035$ affecte le tirage thermique.

$C_3 = 0.01$ affecte l'effet du vent.

Le débit volumique d'air $Q = \frac{A_w}{2} * V_{\text{eff}}$

A_w : la surface de l'ouvrant. (A. Dutreix 2010).

Pour que cette stratégie soit efficace, il faut que la surface d'ouvrant corresponde à environ 1/20 de la surface du plancher à ventiler, l'hauteur d'ouvrant d'au moins 1.5 m et la profondeur de la pièce à ventiler est à 2.5 fois la hauteur sous plafond. (Dutreix, A. 2010).

I. 8. 1. 2. La ventilation transversale

La ventilation transversale est la meilleure stratégie de la ventilation naturelle. Il s'agit d'un passage de l'air à travers deux ouvertures sur deux façades opposées dont une est disposée dans une zone de surpression alors que l'autre est dans une zone de dépression. (Givoni, B. 1978).

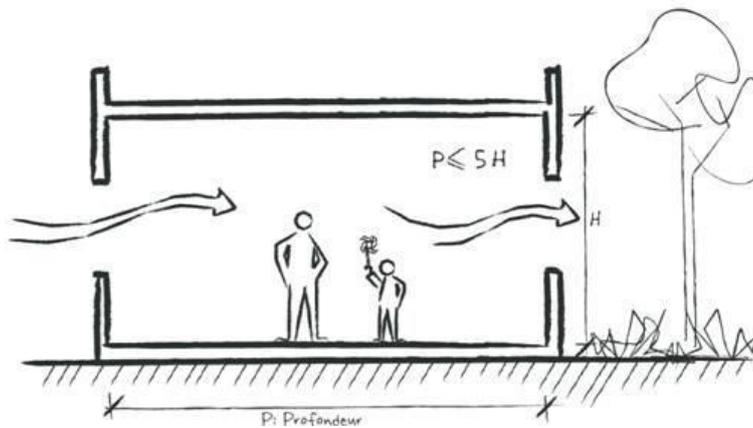


Figure 12: ventilation transversale. Source M. Raoust (Terao) et al

Ce type de ventilation dépend de la vitesse de vent, c'est variable suivant le climat local, et l'absence des obstacles à l'intérieur de l'espace à ventiler. Malgré les avantages liés à cette stratégie de ventilation, il faut se protéger de ces inconvénients, la gêne de courant d'air et la déperdition thermique en hiver.

La meilleure condition pour la ventilation transversale est le changement de direction de flux d'air à l'intérieur d'espace en déplaçant entre l'entrée et la sortie selon B. Givoni. (Givoni, B. 1978).

D'un point de vue pratique, c'est la même formule précédente peut être reproduite en prenant $C_1 = 0.01$

$$V_{\text{eff}} = (0.01 * V_{r^2} + 0.0035H * \Delta T + 0.01)^{1/2} \quad (\text{Dutreix, A. 2010}).$$

I. 8. 1. 3. Le tirage thermique (effet de cheminée)

Lorsque la ventilation transversale n'est pas possible, la ventilation mono-façade n'est pas suffisante ou vu l'absence total du vent, il reste le tirage thermique pour bénéficier d'une ventilation naturelle avec le minimum des inconvénients. (Dutreix, A. 2010). *"Il résulte des forces*

ascensionnelles de masses d'air chauffées placées dans un environnement plus froid" (Avems, 2010).

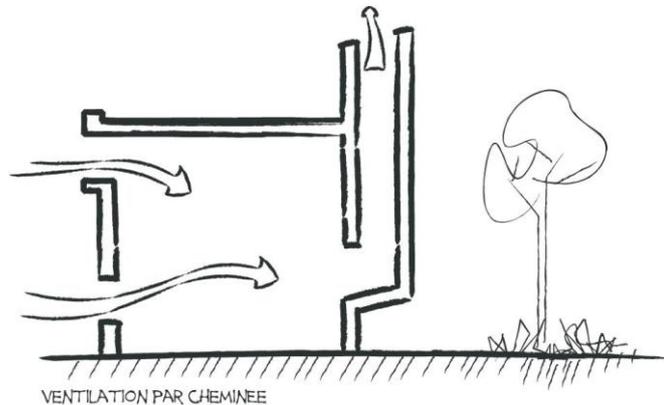


Figure 13: la ventilation par tirage thermique source: M. Raoust (Terao), et al www.asso-iceb.org

Il s'agit de la poussée d'Archimède "..., l'air chaud à tendance à monter et l'air froid à descendre». (Dutreix, A. 2010). Ce principe repose sur la stratification de l'air chaud évacué par un orifice en haut des pièces humides en laissant une dépression en partie basse. Une entrée d'air neuf en bas des pièces principales permet à l'air extérieur neuf d'occuper le vide en traversant le logement. Cela permet d'assurer une ventilation naturelle.

Il est efficace en été (durant la nuit) car l'inertie thermique des bâtiments entretient souvent des écarts de température d'au moins 10°C entre l'intérieur et l'extérieur. (Avems, 2010).

La pression motrice causée par le tirage thermique est en rapport direct avec la hauteur du conduit de ventilation et avec la différence de la température entre l'intérieur et l'extérieur. (Avems, 2010).

Cette poussée thermique différentielle ΔP , en Pascal (Pa)

$$\Delta P = (P_o - P_i) * g * \Delta H = (352 * 6/T_o - 352 * 6/T_i) * g * \Delta H.$$

Avec T_o et T_i en Kelvin (K), température extérieur et intérieur.

ΔH : la hauteur de tirage thermique (m)

P_o et P_i : la masse volumique de l'air intérieur et extérieur.

g : l'accélération terrestre.

Cela est pour estimer les débits d'air. (Dutreix, A. 2010).

La ventilation naturelle reste une procédure difficilement contrôlable suite à ses inconvénients. La déperdition thermique en hiver est le problème majeur de ce type de ventilation. Le ventilateur récupérateur de la chaleur est considéré comme une solution pour récupérer les calories perdues. Son coût énergétique est très modéré. (Kernaleguen, B. et al, sans date.).

Mais une ventilation judicieuse d'une construction répond à divers enjeux énergétiques du confort, de santé des occupants, mise en œuvre technique, de conception architecturale et de maintenance (ICEB 2012). L'utilisateur est un facteur déterminant lors d'une conception d'une ventilation naturelle et influence sur la qualité des résultats. (Mulé, M. 2011).

I. 9. Le Puits Canadien :

Le chauffage des constructions et leur climatisation, en utilisant les énergies fossiles, représente une source de la pollution atmosphérique et provoque l'épuisement des ressources naturelles. La création d'un air conditionné à l'intérieur du bâtiment sans les inconvénients cités est le choix d'une énergie propre. Le puits canadien représente une des solutions efficaces pour améliorer le confort thermique intérieur sans nécessiter aucun combustible.

Le puits canadien comme l'indique son nom a des origines canadiennes, il a été conçu pour la première fois pour éviter la formation du gel dans les maisons inoccupées dans des conditions climatiques rigoureuses (-30°C en hiver). (Dutreix, A.

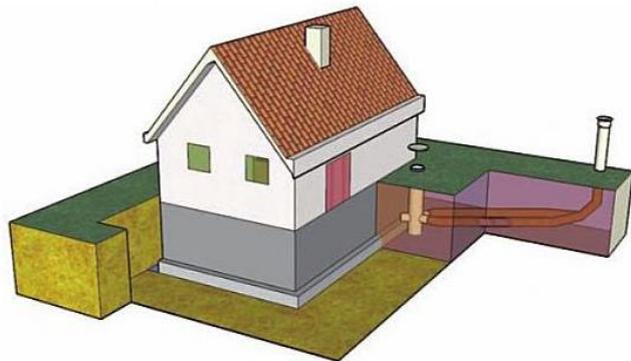


Figure 14: Vue en 3D d'un puits canadien. Source Herzog, B. 2010

2010).

Il s'agit d'utiliser la température presque stable des couches souterraines pour rafraîchir en été ou chauffer en hiver.

I. 9. 1. Définition

Le puits canadien est un système qui utilise l'énergie géo solaire, c'est l'énergie solaire absorbée et stockée dans les couches terrestres superficielles. Il s'agit d'une installation souterraine qui ne

dépend pas au climat extérieur vu la stabilité de température sous terre. (Courgey, S. et Oliva, J. 2007).

Selon la saison, le but du puits canadien est le traitement de l'air avant son entrée à la maison par le préchauffage ou le rafraîchissement de l'air neuf à l'aide d'un système de ventilation par l'intermédiaire d'un conduit d'amenée d'air enfoui dans le sol. (Avems, 2010).

I. 9. 2. Éléments de conception d'un puits canadiens

En construction neuve ou en réhabilitation, le puits canadien reste une procédure qui dépend de certains nombres des éléments nécessaires à sa conception.

I. 9. 2. 1. La nature du sol

La performance du système dépend directement de la capacité calorifique et la conductivité thermique de sol. La conductivité thermique d'un sol dépend de sa composition, de la disposition et de la forme de ses particules constitutives, des liaisons entre ces particules et

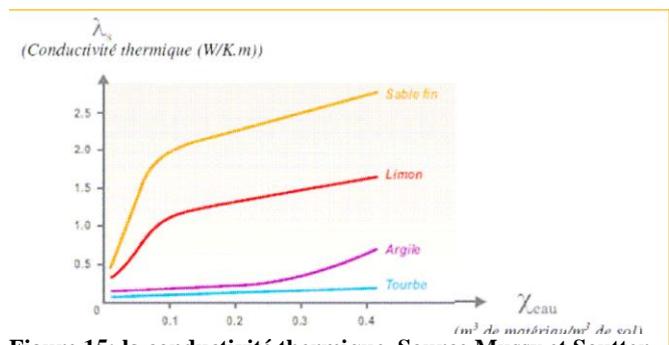


Figure 15: la conductivité thermique. Source Mussy et Soutter 1991 Cit. Heintz, J. 2008

de sa teneur en eau. (Heintz, J. 2008).

Matière	Masse volumique ρ (kg/m ³)	Capacité calorifique C (kJ/K.kg)	Conductivité thermique λ (W/K.m)
Minéraux (moy.)	2650	0,80	2,90
Sable et Gravier	1700 à 2200	0,91 à 1,18	2,00
Argile et Limon	1200 à 1800	1,67 à 2,50	1,50
Matière organique	1300	1,90	0,25
Eau	1000	4,20	0,585
Glace	920	2,10	2,20
Air	1250	1,00	0,023

Figure 16: Propriété thermique des principaux constituants d'un sol. Source Mussy et Soutter 1991. Cit. Heintz, J. 2008

$$C_s = \sum \chi_i \rho_i C_i$$

La capacité calorifique C_s d'un sol s'exprime par la moyenne pondérée des capacités calorifiques de ses constituants : Minéraux, matière organique, eau, air.

Où χ_i , ρ_i , C_i représentent respectivement la teneur du matériau (m³ de matériau/m³ de sol), sa masse volumique et sa capacité Calorifique. (Heintz, J. 2008).

I. 9. 2. 2. Localisation géographique

L'importance d'un puits canadien dépend de la région où il va se situer. Lorsque la région dispose d'un différentiel de température plus de 20°C entre l'été et l'hiver, le puits canadien devient une nécessité pour atténuer cette différence. (Heintz, J. 2008).

I. 9. 2. 3. Place disponible pour l'enfouissement du conduit et coût

Le coût d'un puits dépend directement du coût du terrassement. Pour cela, il est plus intéressant de réaliser le puits avec les travaux de fondation que de l'ajouter à un bâtiment existant. Car le puits canadien, pour son bon fonctionnement nécessite une grande surface dégagée. (Heintz, J. 2008).

I. 9. 2. 4. Type de bâtiment et ventilation hygiénique

Chaque puits canadien doit assurer un débit de ventilation nécessaire pour le type de bâtiment conformément aux règles hygiéniques. (Heintz, J. 2008).

I. 9. 2. 5. Besoins en chauffage et refroidissement

Le dimensionnement d'un puits canadien nécessite une étude thermique en fonction des données climatiques et de besoins en termes de chauffage et de climatisation et de déterminer les principales caractéristiques que doit avoir le puits. (Heintz, J. 2008).

I. 9. 3. Les composants d'un puits canadien :

Un puits canadien est composé des éléments suivants :

Entrée d'air neuf située dans la partie extérieure de la maison.

Un conduit enterré avec un système d'évacuation des condensats situés en haut de la maison.

Un ventilateur et un système de régulation du puits. (Voir figure). (Heintz, J. 2008).

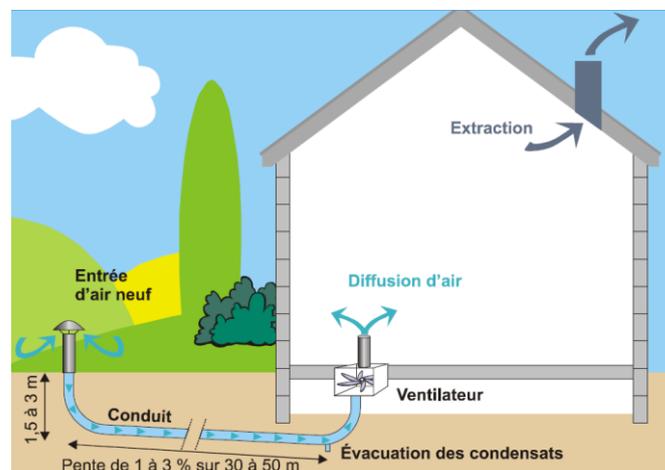


Figure 17: les composants d'un puits canadien.
Source Heintz, J. (CETIAT) 2008)

Le puits canadien peut être annexé à un autre système de ventilation comme la ventilation mécanique contrôlée (VMC).

I. 10. L'architecture solaire passive :

L'architecture solaire passive est basée sur une source naturelle, abondante, gratuite et non polluante. Il s'agit d'utiliser passivement les rayons solaires afin de chauffer l'intérieur en hiver et rafraîchir en été. C'est l'ouverture du bâtiment sur son environnement immédiat tout en se protégeant de ses impacts négatifs.

Sans aucune prouesse technologique, l'architecture solaire passive présente une solution adéquate pour minimiser le retour vers l'utilisation des énergies fossiles en assurant le confort thermique en hiver comme en été. Il s'agit d'introduire des solutions techniques et formelles dans la conception du bâtiment. (PACER 1991).

L'exploitation de l'énergie solaire permet de minimiser l'impact négatif du combustible sur l'environnement, économiser la consommation énergétique et éviter l'épuisement de nos ressources naturelles non renouvelables. Le but de l'utilisation passive de l'énergie solaire est d'assurer l'intégration du bâtiment dans son milieu naturel ainsi que le rapport physique et conviviale de construction avec le soleil. Pour réussir la relation, il faut bien fermer contre les fuites de chaleur ou de fraîcheur en isolant l'enveloppe. Selon Edward Mazria, la différence entre les procédés actifs et ceux passifs consiste à utiliser des équipements mécaniques pour chauffer pour la première catégorie alors que la deuxième nécessite des vitrages orientés vers le sud pour capter la chaleur et une masse thermique pour la conserver. (Mazria, E. 2005).

I. 10. 1. Définition :

Selon le site solarpedia, « *l'architecture solaire passive se définit comme l'art de bâtir une habitation en profitant au mieux du rayonnement solaire pour les besoins de chauffage ou de climatisation. La conception de l'habitation dépend avant tout de sa localisation et de son climat.* » (fr.solarpedia.net).

Par l'orientation du bâtiment, sa structure, son isolation thermique et son étanchéité, les besoins énergétiques de la construction vont diminuer en profitant au maximum des rayons solaires directs. C'est une architecture qui ne nécessite que peu d'énergie pour assurer le confort aux occupants de l'espace.

Dans son livre le guide de la maison solaire, E. Mazria définit l'architecture solaire comme étant des constructions simples de conception et d'utilisation ; ils ne nécessitent pas un grand entretien et ne provoquent pas la pollution thermique. L'énergie solaire est une énergie propre et ne provoque ni déchets, ni gaspillage. (Mazria, E. 2005).

I. 10. 2. La conception solaire passive :

Un habitat solaire passif doit prendre en considération la nature de l'enveloppe par plein de critères afin de réussir sa conception. Il s'agit de garantir l'isolation thermique de l'enveloppe en évitant les ponts thermiques et en assurant l'étanchéité de l'enveloppe aux infiltrations d'air sans oublier un système de ventilation bien contrôlé. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005).

Il est impératif de bien choisir l'orientation du bâtiment selon le trajet solaire pour bénéficier du chauffage solaire passif. Selon l'avis des chercheurs, le sud est considéré comme la meilleure orientation. La distribution spatiale, selon l'usage de chaque espace et son besoin thermique, est nécessaire afin d'économiser l'énergie. Le choix de construire avec des matériaux lourds permet d'assurer l'inertie thermique de l'enveloppe.

I. 10. 3. Les principes d'un chauffage solaire passif :

Il s'agit d'utiliser les rayons solaires pour chauffer l'intérieur en **captant** l'énergie solaire, de la **stocker** pour **distribuer** la chaleur accumulée durant la période de non ensoleillement et conserver la chaleur contenue dans le bâtiment suite à un chauffage d'appoint.

I. 10. 3. 1. Capter :

C'est introduire les rayons solaires à l'intérieur du local à travers la partie transparente de l'enveloppe. Il s'agit de transformer l'énergie solaire en chaleur. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005). Le captage des rayons solaires dépend du climat du site, la nature des surfaces de l'enveloppe, la topographie du site et l'ombrage ...etc. (Potin, A. et al 2004).

Pour augmenter la transmission des rayons solaires à l'intérieur, il faut augmenter la surface des vitrages orienté au rayonnement solaire durant la période de chauffe. (Potin, A. et al 2004)

I. 10. 3. 2. Stocker :

Durant une journée ensoleillée, le captage des rayons solaires augmente le risque de surchauffe. L'absence d'ensoleillement durant la nuit provoque une diminution remarquable de la température. Afin de régler ce déséquilibre entre la journée et la nuit, l'utilisation des matériaux de construction de forte inertie thermique permet de stocker l'excès de chaleur capté en jour pour la restituer durant

la nuit (Mazria, E. 2005). La masse thermique permet d'atténuer les fluctuations de température selon la capacité d'accumulation de chaque matériau de construction. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005).

I. 10. 3. 3. Conserver :

Lorsqu'il s'agit d'un climat froid, toute chaleur reçue suite à un ensoleillement, d'un apport interne ou d'un système de chauffage doit être conservé. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005).

La conception de la forme, l'isolation thermique, l'étanchéité de l'enveloppe et l'échange-récupération de la chaleur sont des éléments essentiels pour la conservation de la chaleur. D'autres facteurs sont nécessaires pour conserver la chaleur comme : l'organisation spatiale suivant le trajet solaire, la nature de l'enveloppe et l'utilisation des espaces tampons pour protéger la partie habitable du bâtiment. (Potin, A. et al 2004).

I. 10. 3. 4. Distribuer :

La phase finale des principes du chauffage solaire passif est de distribuer la chaleur stockée. C'est la partie la plus difficile car il s'agit de bien orienter la chaleur vers les espaces habitables. Donc, il s'agit d'utiliser les principes du rayonnement et de convection de la chaleur. (Potin, A. et al 2004). Le principe de thermo-circulation permet d'évacuer la chaleur vers le haut et la remplacer par l'air froid. La réussite de la distribution de la chaleur selon les besoins de l'utilisateur est faisable par le choix d'une ventilation forcée. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005).

Tous ces points sont abordables lorsqu'il s'agit d'un chauffage solaire passif. Mais dans un climat caractérisé par un été chaud, une réfrigération d'été est nécessaire. D'autres principes vont apparaître pour assurer le confort estival.

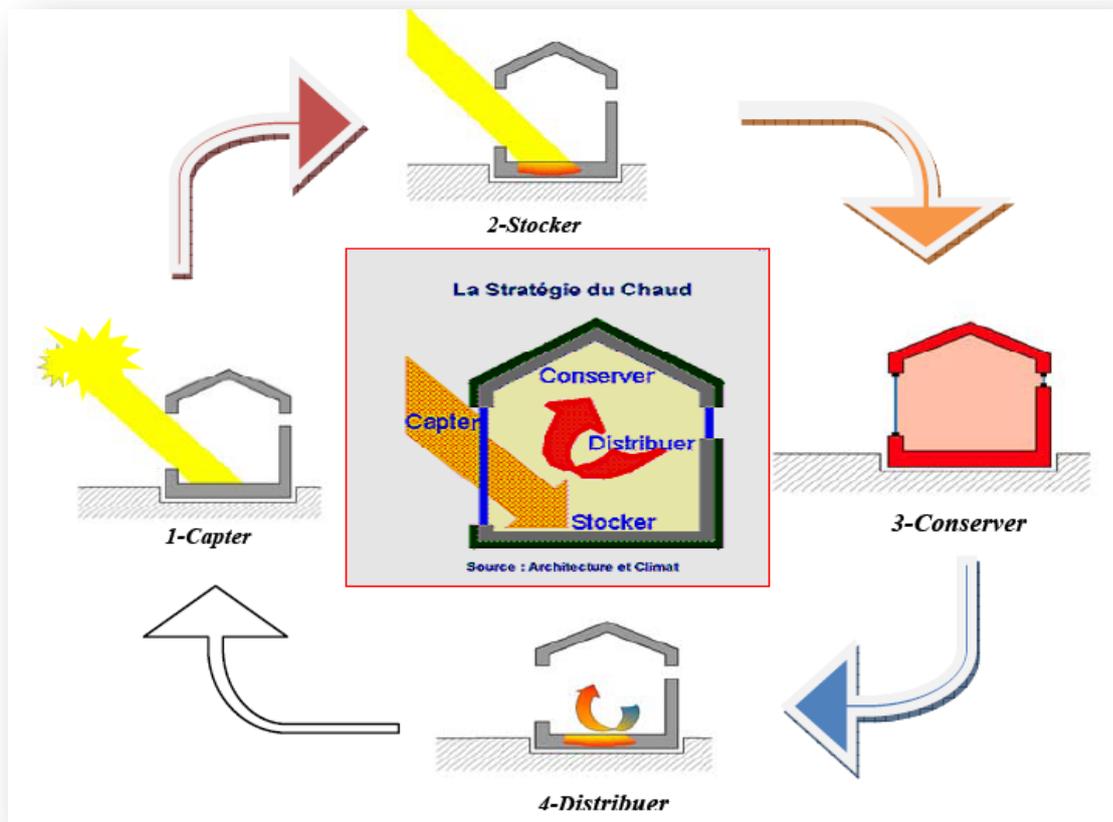


Figure 18: le chauffage solaire passif
Source : Alexandroff, G. et J.-M. cité par Liébard, A. et De Herde, A. 2005

I. 10. 4. Réfrigération d'été :

Les deux principes essentiels pour la conception d'un habitat solaire sont l'ouverture vers le sud et l'inertie thermique. Cela est bon pour chauffer en hiver, mais s'il s'agit d'un été trop chaud, ces deux éléments sont les responsables d'inconfort issu de l'excès de chaleur. (Mazria, E. 2005).

Des autres éléments contribuent à rafraîchir en été. L'ouverture de la construction à la fraîcheur de la nuit par la conception des grands ouvrants sur des façades opposés, une pour capter les brises dominant de la nuit et l'autre pour évacuer l'air chaud. La fermeture de la construction durant la journée est nécessaire pour préserver la fraîcheur de la nuit et empêcher la chaleur d'entrer à l'intérieur. (Mazria, E. 2005).

Pour éviter les surchauffes d'été deux principes sont primordiales, la protection contre les rayonnements directs et la dissipation de la chaleur par ventilation naturelle du bâtiment.

I. 10. 4. 1. La protection solaire :

En été, les rayons solaires intenses et directs deviennent un inconvénient par rapport au besoin du confort thermique. La protection solaire est considérée comme la première défense contre la chaleur. Alors que la deuxième défense est l'enveloppe du bâtiment. (Mazria, E. 2005).

Des gestes simples sont nécessaires à la réussite de la protection solaire. Il s'agit d'utiliser des écrans extérieurs, selon les besoins, de type permanent, amovible ou saisonniers par la végétation comme protection solaire. L'isolation thermique et l'inertie peuvent contribuer à empêcher ou à diminuer la chaleur de dissiper vers l'intérieur en limitant les infiltrations d'air chaud vers l'intérieur. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005). Les parois réfléchissantes des rayons solaires sont nécessaires pour éviter la surchauffe d'été. (Mazria, E. 2005).

I. 10. 4. 2. La dissipation de la chaleur :

En été, la surchauffe liée à l'accumulation de la chaleur doit être dissipée par la ventilation pour permettre à l'air chaud de sortir et le remplacer par l'air froid.

Lorsqu'une façade est exposée au vent dominant, en surpression, cela permet l'entrée d'air et l'autre façade, en dépression, permet la sortie d'air. C'est l'effet de vent. (E. Mazria 2005).

Une autre méthode pour dissiper l'air chaud en été consiste à utiliser l'effet de cheminée par la montée de l'air chaud et son remplacement par l'air frais. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005).

I. 10. 4. 3. La minimisation des apports internes :

L'éclairage artificiel, les équipements électriques et la densité des occupants sont des sources de surchauffe en été. Le choix d'un éclairage naturel par exemple peut diminuer la chaleur interne. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005).

I. 10. 4. 4. Refroidissement des locaux :

Pour refroidir les locaux passivement, la ventilation nocturne est primordiale pour évacuer la chaleur stockée dans les matériaux de construction. (Mazria, E. 2005).

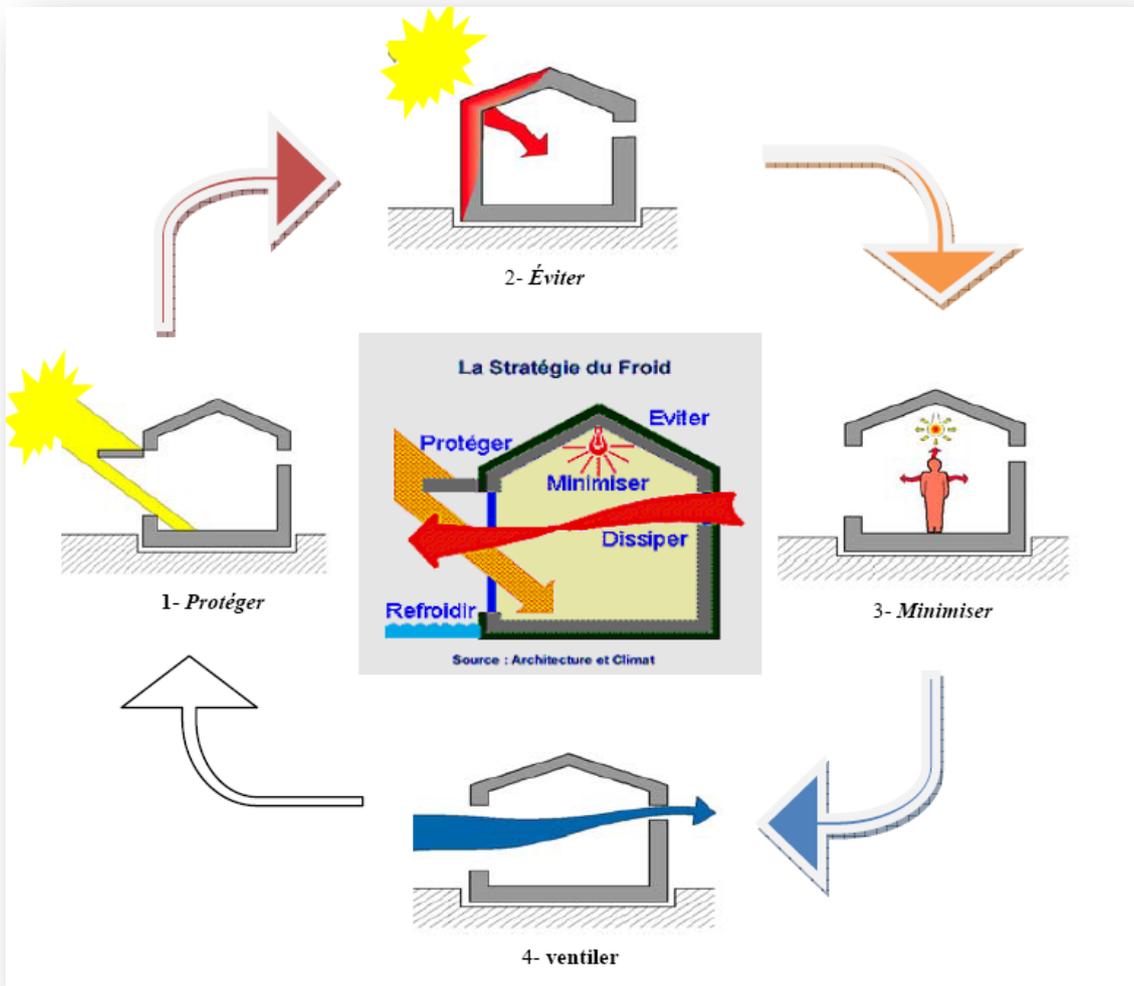


Figure 19: la réfrigération d'été
Source : Alexandroff, G. et J.-M. cité par Liébard, A. et De Herde, A. 2005

D'autres procédures naturelles, tel que l'eau, la végétation et l'utilisation de la température sous terrain, sont intéressantes pour refroidir l'air intérieur. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005).

I. 10. 5. Les avantages et les inconvénients des procédés solaires passifs :

Comme toute procédure, l'architecture solaire passive présente des avantages et des inconvénients selon le cas.

I. 10. 5. 1. Les avantages d'une architecture solaire passive :

Les avantages proposés sont dans le domaine d'architecture, d'économie et du confort des occupants et leur santé selon E. Mazria dans son livre « le guide de l'architecture solaire ». Ce procédé favorise la simplicité de conception, du fonctionnement et d'entretien avec l'absence de

risque des pannes. Il s'agit d'apporter des économies du chauffage sans coût supplémentaire au niveau de la construction de l'habitat en minimisant la facture énergétique jusqu'à 90% selon le site. La sensation du confort est éprouvée selon l'avis des occupants en maîtrisant la température du sol. (Mazria, E. 2005). L'habitat solaire passif reste toujours hors gel même avec les conditions climatiques les plus rigoureuses.

I. 10. 5. 1. Les inconvénients d'une architecture solaire passive :

Selon l'avis d'E. Mazria le problème majeur des procédés solaire passif est le manque de maîtrise de la température ambiante. (Mazria, E. 2005). Il s'agit aussi d'une difficulté de construire un habitat solaire passif dans un site urbain. Enfin, les pièces situées en côté nord sont en noir vu la protection contre le froid en hiver.

I. 10. 6. Les recommandations :

Lorsqu'il s'agit d'une architecture solaire passive, plusieurs facteurs sont nécessaires pour réussir le projet. L'orientation du bâtiment vers le sud, par une forme d'un rectangle allongé est-ouest, est primordiale pour bénéficier du chauffage solaire d'hiver. Le maximum des ouvertures doivent être vers le sud en disposant les espaces selon leurs besoins thermiques. Le choix des matériaux de construction est selon l'inertie thermique de chaque matériau. L'inertie thermique est de préférence en couleur foncé avec un aspect mat pour augmenter la capacité d'absorption de la chaleur. L'implantation des arbres feuillus côté sud est pour protéger la construction des rayons solaires d'été et bénéficier de soleil d'hiver. Enfin, il s'agit d'augmenter l'isolation et l'étanchéité de la construction.

Conclusion

La conception bioclimatique reste une procédure à prendre en considération lors de l'architecture d'aujourd'hui afin d'intégrer le cadre bâti au climat et à son environnement immédiat.

L'énergie fossile utilisée actuellement pour le chauffage et la climatisation est une énergie épuisable et provoque un effet négatif sur l'environnement. Cela nécessite une stratégie pour sauvegarder la planète dans l'urgence par le respect des éléments naturels en offrant le confort thermique à l'intérieur des constructions.

A travers ce premier chapitre, on a pu faire sortir les principes de base de l'architecture bioclimatique. Il fallait remonter dans l'histoire par l'analyse de l'architecture vernaculaire saharienne en Algérie en faisant sortir ses caractéristiques et les solutions bien adaptées au climat local. Il s'agit, en même temps, de passer par les stratégies de la conception bioclimatique, la ventilation et l'utilisation passive de l'énergie solaire afin de maîtriser ce type de conception.

L'espoir de vivre en cohérence entre l'occupant et son environnement reflète l'intérêt de la conception bioclimatique de l'enveloppe architecturale. Il s'agit de corriger les données climatiques en offrant le confort intérieur des bâtiments sans le besoins du chauffage ou de la climatisation mécanique. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005).

Assurer le confort des individus en minimisant le recours à une consommation énergétique excessive est un objectif majeur de la conception bioclimatique mais il s'agit de développer encore d'autres éléments contribuant à l'intégration du bâtiment dans son climat. C'est le but des prochains chapitres.

*Chapitre deux : l'enveloppe
thermique et l'isolation.*

Introduction

Dans une conception bioclimatique, l'enveloppe d'un bâtiment représente l'élément protecteur de l'espace intérieur des impacts néfastes de l'extérieur. Par sa forme, son épaisseur, sa nature et sa couleur, elle participe à la régularisation du climat intérieur et à l'optimisation énergétique.

L'évolution historique de l'enveloppe est marquée par des caractéristiques, des proportions, une matérialité et des significations culturelles (Hegger, M. et al 2011). Le passage d'une enveloppe lourde qui caractérise l'architecture traditionnelle vers une autre plus légère après la révolution industrielle a augmenté la facture énergétique de façon brutale.

C'est qu'en XIX^{ème} siècle que la notion d'enveloppe a été introduite et développée dans la théorie architecturale (Bermstein, D. et al 1997). Lorsque l'enveloppe thermique ne répond pas aux exigences du confort, l'introduction d'une isolation permet de freiner les pertes de chaleur d'hiver et valorise efficacement les apports du confort thermique. (Bekkouche, S.M.A. et al 2009).

II. 1. L'enveloppe thermique d'une construction :

"C'est une sorte de peau séparant l'extérieur de l'intérieur d'un bâtiment" (Bermstein, D. et al 1997). L'enveloppe exprime l'apparence d'un ouvrage et communique avec son environnement. Elle filtre et organise les sons, la lumière et les couleurs, l'ensoleillement et l'ombre, les vues et le chaud et le froid. (Bermstein, D. et al 1997).

Pour l'architecte, l'enveloppe est une surface de contact entre le bâtiment et la ville. (Guignard, S. 2010). Alors que pour l'occupant, les parois de l'enveloppe qui l'entourent sont des éléments du confort thermique et visuel et constituent un facteur d'esthétique de son bâtiment. (Guignard, S. 2010).

Le rôle de l'enveloppe d'une construction est d'assurer l'intimité des habitants en offrant un climat intérieur sain et confortable avec une optimisation de la consommation énergétique.

Une conception adéquate d'enveloppe du bâtiment permet d'assurer le confort tout au long de l'année en minimisant le recours aux grandes installations de chauffage et de climatisation.

II. 1. 1. L'évolution historique de l'enveloppe :

II. 1. 1. 1. En architecture vernaculaire :

Selon Alexandroff, l'enveloppe était caractérisée par une forte masse thermique. Il s'agit des enceintes lourdes à forte inertie thermique à des percements en petites surfaces en partie haute du mur afin d'évacuer l'air chaud et vicié. (Alexandroff, G. et J.-M. 1982).

Les matériaux de construction utilisés durant cette période sont généralement, la pierre associée à l'argile armée de roseaux ou de bois pour l'architecture méditerranéenne par exemple. (Alexandroff, G. et J.-M. 1982).

II. 1. 1. 2. Durant l'âge moderne :

A partir du XVI^e siècle, l'architecture vernaculaire commence à marquer son fin ou l'enveloppe devient plus en plus maigre par l'agrandissement des baies vitrées. Cela a provoqué l'accélération des échanges thermiques entre l'intérieur et l'extérieur. (Alexandroff, G. et J.-M. 1982).

L'arrivée de l'âge industriel était marquée par l'extraction d'une nouvelle source d'énergie considérée comme inépuisable qui est le charbon. L'enveloppe devient plus légère par les verrières métalliques en XIX^e siècle pour répondre au problème d'éclairage. Le soleil n'est plus considéré comme une source énergétique mais exprimé sous l'angle lumineux.

Cette légère construction a posé le problème de la qualité thermique par des surchauffes en été et des dépenses exorbitantes pour le chauffage en hiver. (Alexandroff, G. et J.-M. 1982).

Dans son livre "Architecture et climat", Alexandroff a présenté Wright et le Corbusier comme des maîtres du mouvement moderne au XX^e siècle. Le Corbusier a utilisé le béton armé comme un matériau à forte masse thermique mais son enveloppe était loin d'être climatique par les fortes déperditions liées à la grande surface des ouvertures. (Alexandroff, G. et J.-M. 1982).

Pour Wright, l'utilisation de la grande masse thermique en pierre ou en brique pleine dans ses projets n'a pas résolu le problème de la consommation excessive d'énergie suite aux grandes surfaces des baies en simple vitrage qui provoquent des pertes thermiques énormes. (Alexandroff, G. et J.-M. 1982).

II. 1. 1. 3. Le choc pétrolier de 1973 :

Suite au choc pétrolier, l'Europe était très influencé par l'augmentation excessive des prix des énergies fossiles par un secteur résidentiel et tertiaire très consommateur. Cela a nécessité l'application des nouvelles réglementations pour l'utilisation des matériaux d'isolation thermique et l'apparition des nouvelles notions d'habitat passif, bioclimatique, écologique...etc. L'objectif de tous cela est l'amélioration thermique de l'enveloppe de la construction.

II. 1. 2. Les matériaux de construction :

La connaissance du comportement thermique des matériaux de construction est fondamentale pour l'architecte concepteur. Le choix de la structure, l'épaisseur des murs et la localisation de la masse thermique présentent des éléments nécessaires pour une conception bioclimatique. (Guignard, S. 2010).

Le choix des matériaux de construction est selon deux types des critères. Le premier est un critère objectif qui dépend des propriétés physiques ou chimiques, les dimensions ou le coût. Bien que l'autre critère est de type individuel et subjectif par le contact et l'aspect de sa surface. (Hegger, M. et al 2011).

Un matériau de construction doit répondre aux exigences de sécurité incendie, à l'acoustique, à la protection contre l'humidité, la chaleur et le froid et la résistance statique. Cela peut avoir l'influence sur la santé, le besoin en énergie et l'environnement.

II. 1. 3. Propriété et performances thermiques des matériaux :

Les matériaux reçoivent différemment les rayons solaires selon leur degré de transparence ou d'opacité, leur couleur et leur texture de surface. Ils ont aussi des caractéristiques thermiques particulières tenant à leur structure et à leur masse qui leur permettent de gérer différemment les apports calorifiques (Courgey, S. et Oliva, J. P. 2007). Ces caractéristiques seront prises en compte lors d'une conception bioclimatique des parois de la construction.

Leur rôle sera de capter les calories, les stocker et les transmettre ou les conserver.

Les caractéristiques thermiques sont de deux types :

Les caractéristiques statiques : c'est le comportement d'un matériau en présence d'un flux thermique indépendamment de temps de réaction. Ce sont la **conductivité** et la **capacité thermique**. (Courgey, S. et Oliva, J. P. 2007).

Les caractéristiques dynamiques : ce sont la **diffusivité** et l'**effusivité**. Elles font intervenir le facteur temps. (Courgey, S. et Oliva, J. P. 2007).

II. 1. 3. 1. La conductivité thermique (λ)

C'est la capacité d'un matériau de ralentir les échanges calorifiques entre l'intérieur et l'extérieur. Plus la conductivité est faible, plus le matériau est isolant. (Le Goaring, P. 2009).

II. 1. 3. 2. La capacité thermique (ρc)

C'est la capacité d'un matériau d'emmagasiner la chaleur par rapport à son volume.

Elle dépend de trois paramètres : (Oliva, J. P. 2007).

La conductivité thermique du matériau (λ).

La chaleur spécifique du matériau.

La densité ou masse volumique du matériau.

II. 1. 3. 3. La diffusivité thermique (a)

La diffusivité thermique est la capacité d'un matériau de transmettre une variation de la température. Elle augmente avec la conductivité thermique et décroît avec l'augmentation de sa chaleur volumique. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005). C'est aussi la vitesse de diffusion de la chaleur à l'intérieur d'un matériau.

II. 1. 3. 4. L'effusivité thermique (b)

Il s'agit de la capacité d'un matériau d'absorber ou de restituer une puissance thermique. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005). Plus l'effusivité est élevée, plus le matériau absorbe l'énergie sans se réchauffer. (Courgey, S. et Oliva, j. P. 2007).

Pour réduire l'effet du flux thermique, il faut augmenter l'effusivité des parois et diminuer la diffusivité. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005).

II. 1.4. Le vitrage et ses propriétés thermiques

L'intégration d'une partie transparente dans l'enveloppe lors de la conception est primordiale pour assurer un confort visuel et thermique. Les vitrages laissent passer les rayons solaires pour garantir une luminance naturelle, un chauffage solaire passif et un contact avec l'extérieur.

Lorsque le soleil frappe un vitrage, une partie des rayons solaires va traverser la partie transparente avec des rayons infrarouges de courte longueur. Cela va être absorbé par les parois où il va être transformé en chaleur. Ce rayonnement composé des longues ondes va pénétrer dans la pièce et sera emprisonné dans l'espace intérieur et va le chauffer. Donc c'est l'effet de serre très utile dans le cas du chauffage solaire passif. (Hegger, M. et al 2011).

Les propriétés spécifiques de vitrage sont :

Facteur solaire (g) : le degré de transmission énergétique globale " facteur solaire" est le pourcentage d'énergie solaire incidente transmise à travers une vitre à l'intérieur d'un local. (Mazari, M. 2012).

Facteur lumineux (τ): c'est le pourcentage de lumière solaire qui traverse une vitre. Cela permet au verre d'être plus transparent si ce facteur augmente.

Facteur thermique (U) : Ce coefficient de transmission thermique exprime la quantité de chaleur transmise par un mètre carré de vitre par un degré de différence de température entre l'intérieur et l'extérieur. (Mazari, M. 2012).

Plus ce facteur diminue, plus augmente l'isolation de vitrage. Pour améliorer le coefficient de transmission, il faut un ou plusieurs des solutions suivantes : (Courgey, S. et Oliva, J. P. 2007).

En doublant ou en triplant le vitrage.

En augmentant les lames d'air qui séparent entre les vitres.

En revêtant une des faces du verre intérieur d'une couche à faible émissivité.

En remplaçant l'air entre les vitrages par un gaz plus lourd comme l'argon ou le krypton.

Ces facteurs vont changer selon la nature de vitrage :

Le vitrage clair.

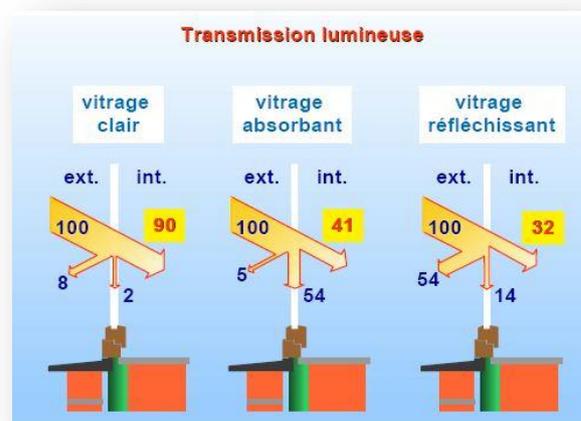


Figure 20: la transmission lumineuse source Liébard, A. 2005

Le vitrage absorbant.

Le vitrage réfléchissant.

II. 1. 5. L'inertie thermique

Lorsque les rayons solaires frappent une paroi opaque de la construction, une partie d'énergie rayonnée est absorbée alors que l'autre est réfléchiée.

Selon les chercheurs dans le domaine de l'inertie thermique, c'est la capacité d'un matériau d'emmagasiner et de restituer de la chaleur ou de la fraîcheur. L'inertie thermique peut être l'équivalent du confort et d'économie en énergie lorsqu'elle est prise en considération lors de la conception comme elle peut être une cause d'inconfort et de gaspillage énergétique si elle est ignorée ou mal traité.

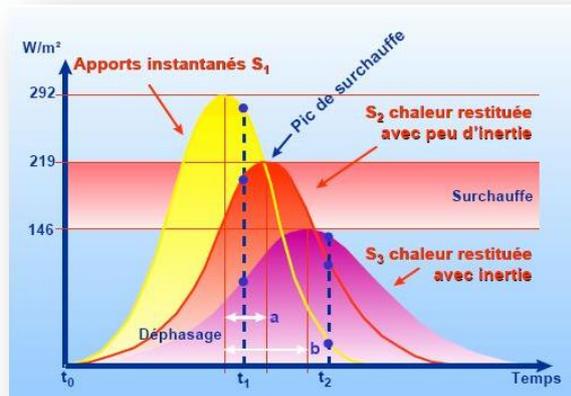


Figure 21: l'inertie thermique source Liébard, A. 2005

II. 1. 5. 1. Les types de l'inertie thermique

L'inertie thermique dépend de la constitution de l'enveloppe et du poids des planchers et des parois.

L'inertie de transmission : Elle décrit dans quelle mesure une paroi de l'enveloppe diminue l'amplitude d'une oscillation de la température extérieure et la retarde dans sa transmission vers l'intérieur. L'inertie de transmission augmente avec l'épaisseur et diminue avec la diffusivité de la paroi. (Bernstein, D. et al 1997).

L'inertie d'absorption : Elle décrit comment la température de la face d'une paroi intérieure en contact avec l'air du local, réagit à une oscillation du flux de chaleur intérieur. L'inertie d'absorption augmente avec l'épaisseur et avec la diffusivité de la paroi. (Bernstein, D. et al 1997).

La différence entre l'inertie de transmission et celle d'absorption est importante car une grande partie des flux de chaleur affecte l'intérieur d'un bâtiment non pas par l'enveloppe opaque mais directement par les ouvertures ou les bouches de ventilation. (Bernstein, D. et al 1997).

II. 1. 5. 2. Les effets de l'inertie :

Une forte inertie thermique permet d'éviter les surchauffes journalières et de profiter de fraîcheur nocturne en été, donc de réduire le besoin de refroidir artificiellement. IL s'agit de profiter de la chaleur naturelle en hiver surtout dans le cas d'un usage continu. Cela permet de diminuer la facture énergétique dans tous les saisons à condition de bien orienter les vitrages et d'occuper le bâtiment fréquemment en améliorant le confort thermique à l'intérieur et en atténuant les fluctuations de température à l'extérieur.

II. 1. 6. Les défauts de l'enveloppe thermique

La composition de l'enveloppe thermique, des différents matériaux et assemblages séparant l'intérieur de l'extérieur, risque d'avoir des défauts de réalisation qui peuvent provoquer des pertes calorifiques. Ces derniers sont des déperditions thermiques liées aux défauts d'étanchéité à l'air ou des ponts thermiques. (Courgey, S. et Oliva, J. P. 2007).

II. 1. 5. 1. Les ponts thermiques :

Les ponts thermiques expriment les parties de l'enveloppe représentant des défauts d'isolation. La résistance thermique est affaiblie de façon sensible au niveau de ces endroits. (Courgey, S. et Oliva, J. P. 2007).

Généralement, les ponts thermiques sont disposés au niveau des points ou L'isolation est absente ou présente des faiblesses, Les jonctions entre les différents plans (mur/ plancher par exemple) et les changements des parois (opaque / vitré). (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

Il existe deux types des ponts thermiques, les ponts thermiques linéaires (ψ) exprimé en $w/m.k$ et les ponts thermiques ponctuels (χ) exprimé en w/k . (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

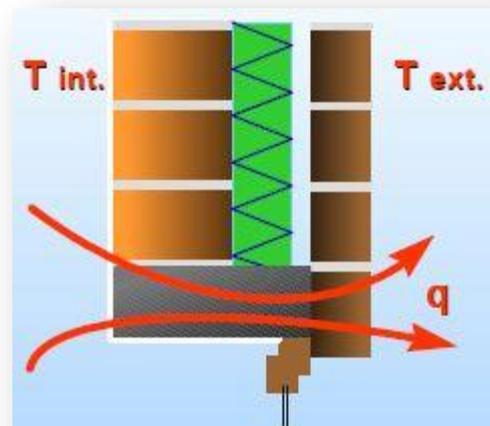


Figure 22: les ponts thermiques source Liébard, A. 2005

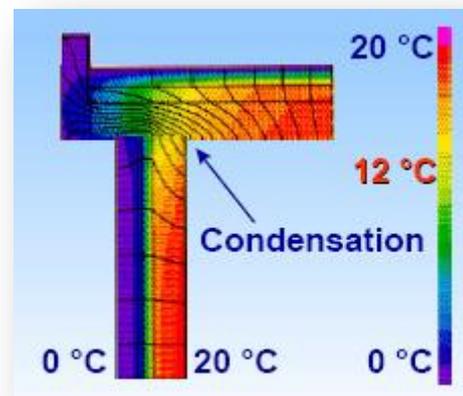


Figure 23: les effets des ponts thermiques source Liébard, A. 2005

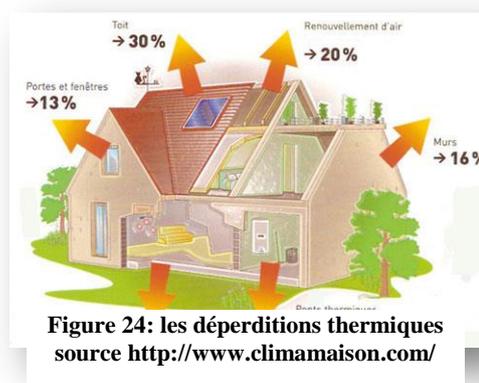
Les effets néfastes des ponts thermiques sont sur plus d'un niveau. Ils provoquent des pertes de chaleur et des fuites calorifiques, donc des surconsommations énergétiques afin d'améliorer le niveau du confort thermique. Le risque de condensation et des moisissures peut entraîner la pollution de l'espace intérieur et une dégradation prématurée du bâtiment. (Courgey, S. et Oliva, J. P. 2007). L'augmentation de la sensation d'inconfort est suite aux parois froides. (Liébard, A. Herde, et A. D. 2005).

Pour réduire les effets des ponts thermiques, il faut créer une barrière composé d'un élément de rupture isolant au niveau du passage du flux de chaleur. Il s'agit de réduire la section de passage du pont thermique en augmentant son parcours. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

La thermographie à infrarouge permet de visualiser les ponts thermiques en connaissant la température des parois. (Liébard, A. et De herde, A. 2005).

II. 1. 6. 2. Les défauts d'étanchéité à l'air :

Les déperditions thermiques sont dues aux infiltrations d'air à travers l'enveloppe causés par des défauts de conception et / ou de réalisation. Ils sont considérés comme la première source de refroidissement des bâtiments. (Liébard, A. et De herde, A.2005).



Cette perméabilité de l'enveloppe à l'air est suite à une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur. Cela est lié aux effets du tirage thermique, du vent et du système de ventilation. (ADEME 2003).

Les effets relatifs à la déperdition thermique sont à prendre en considération lors de la conception et de la réalisation d'une construction. Il s'agit de l'augmentation d'inconfort thermique et acoustique suite aux courants d'air avec La surconsommation énergétique pour chauffer ou climatiser l'intérieur. La pollution de l'air intérieur est due aux isolants, les moisissures ou à la poussière surtout avec la ventilation simple flux. La détérioration du bâtiment est suite à la condensation. (Courgey, S. et Oliva, J. P. 2007).

Comme il est impossible de supprimer les déperditions thermiques totalement, il faut au moins les limiter par faire attention lors de la pose des isolants, la pose des menuiseries et la réalisation de l'installation électrique. (Courgey, S. et Oliva, J. P. 2007).

II. 2. L'isolation thermique

70% de l'énergie consommée dans les bâtiments est destinée au chauffage et à la climatisation. L'isolation est pour augmenter le confort en hiver comme en été. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

Lorsque l'enveloppe d'un bâtiment ne répond pas aux exigences de confort thermique en minimisant le recours aux énergies fossiles. C'est le moment d'appliquer une isolation thermique pour éviter les pertes calorifiques en hiver et protéger l'intérieur des rayons solaires intenses en été.

L'isolation thermique d'un bâtiment est la conception et l'exécution de sa structure et de tous les éléments de l'enveloppe extérieure de manière qu'ils aient la résistance thermique avec une inertie thermique ainsi qu'il soit adéquats aux pertes et aux apports de la chaleur. (Dumitriu-Valcea, E. 1986).

Sur le plan architectural, l'utilisation de l'isolation thermique permet de minimiser le retour à la compacité et le besoin d'une grande inertie thermique.

L'isolation représente un outil essentiel afin d'améliorer le niveau de confort thermique. Il s'agit de penser le projet entièrement, y compris la pose de l'isolation, pour qu'il soit efficace énergétiquement. (Fragos, MM. et Trouilleux, 2012).

L'isolation concerne les murs extérieurs, le sol, le comble, les murs intérieurs en relation directe avec les espaces tampons non chauffés. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

Selon le type d'isolant, les matériaux d'isolation se présentent sous forme de rouleau ou de panneaux, de plaques, de flacons ou granulats, des matériaux de construction ou de panneaux de doublage constitués d'une plaque de plâtre cartonnée sur laquelle est collé un isolant. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

L'isolation thermique a trois fonctions principales dans un logement. La première consiste à augmenter le confort thermique en hiver comme en été. La deuxième est de minimiser la consommation énergétique pour le chauffage et / ou la climatisation. Alors que la troisième est de rendre l'habitat plus écologique en diminuant les pollutions liées au rejet des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. (Gacem, M. 2012).

II. 2. 1. Les principes de l'isolation thermique

Pour isoler une enveloppe, trois manières d'isolation sont disponibles. Il s'agit de L'isolation intérieure, l'isolation extérieure et celle répartie.

II. 2. 1. 1. L'isolation intérieure :

Ce type d'isolation est largement utilisé grâce à ses multiples avantages. La facilité de mettre en œuvre

représente un de ses bienfaits avec une application moins chers que d'autres types d'isolation et ne nécessite pas l'intervention d'un professionnel.

Alors que ses inconvénients sont plus important car elle diminue l'espace habitable, supprime les bienfaits de l'inertie thermique, provoque la condensation des parois et n'élimine pas les ponts thermiques.

II. 2. 1. 2. L'isolation extérieure :

Elle est plus performante que le premier type d'isolation grâce à la suppression de tous les ponts thermiques, l'augmentation de l'effet de l'inertie thermique et La protection de la maçonnerie des intempéries et des variations de la température.

L'isolation par l'extérieur est caractérisée aussi par son empêchement du froid et de la chaleur d'arriver aux parois intérieures et la préservation des surfaces des espaces intérieurs.

Mais son inconvénient majeur reste son coût élevé et le besoin d'un professionnel pour son application.

II. 2. 1. 3. L'isolation répartie :

Elle est caractérisée par l'utilisation de l'isolation en tant que matériau de construction. Son rôle majeur est la stabilité de la construction, le remplissage et l'isolation en même temps.



Figure 25: application d'une isolation intérieure source <http://www.finexto.com/>

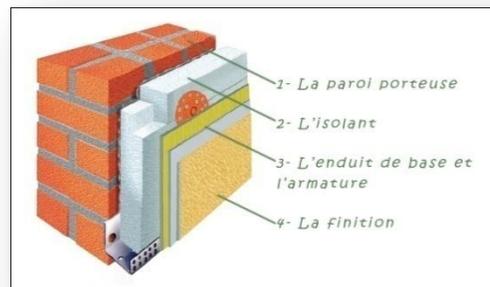


Figure 26: l'isolation par l'extérieur source <http://www.iso-exterieure.fr/>



Figure 27: l'isolation répartie source <http://isolation.maison-materiaux.com/>

(Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

II. 2. 2. Les types d'isolant

II. 2. 2. 1. Les isolants synthétiques :

Ils sont des matériaux fabriqués de manière synthétique.

Le polystyrène expansé (PSE) : c'est un dérivé de raffinage de pétrole (naphta). (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).Le polystyrène expansé (PSE) renferme une multitude de billes liées par compression lors du moulage et qui emprisonnent l'air sec immobile. Il est caractérisé par une grande légèreté, une résistance mécanique élevée mais il est fragile au feu. Son conductivité est très faible (entre 0.029 et 0.038 w/m.k) (Fragos, M. M. et Trouillez, 2012).

Polystyrène extrudé (XPS) : il est issu de naphta. Son conductivité thermique est entre 0,029 et 0,037 W/m.K.) (Fragos, M. M. et Trouillez, 2012).

Polyuréthanes (PUR) : le mélange d'un polyol, un isocyanate et un agent d'expansion (HFC ou CO₂). (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).



Figure 28: le polystyrène expansé et le polystyrène extrudé
Source MM. Fragos et Trouillez 2012

II. 2. 2. 2. Les isolants minéraux :

Ils ont d'origine naturelle non organique.

La laine de verre : elle est composée de la silice (sable), du verre de récupération (ou calcaire) transformé par fusion, fibrage, et polymérisation. Son conductivité thermique est de 0.030 à 0.040 w/m.k. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).Selon l'OMS, la laine de verre ne présente aucun risque sur la santé des



Figure 29: la laine de verre

occupants. (Fragos, M. M. et Trouillez, 2012).

La laine de roche : (MW) : elle est transformée à partir du Basalte composé d'une roche volcanique, de fondant et de coke. Son conductivité thermique est de 0.032 à 0.040 w/m.k. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).



Figure 30: la laine de roche

Le verre cellulaire : (CG) elle est composée des millions de cellules fermées remplies de gaz inerte. Son origine est du sable ou calcin (verre recyclé). Son conductivité thermique est de 0.038 à 0.055 w/m.k. (Fragos, M. M. et Trouillez, 2012).



Figure 31: le verre cellulaire

La perlite : (EPB) c'est une roche volcanique siliceuse qui est concassée, puis chauffée à 1200 °C. La perlite est hydrophile, très durable et écologique. Son conductivité thermique est de 0.05 à 0.06 w/m.k. (Fragos, M. M. et Trouillez, 2012).

La vermiculite : c'est du silicate de magnésite (source naturelle abondante). Son conductivité thermique est de 0.06 à 0.08 w/m.k. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).



Figure 34: la perlite.



Figure 33: la vermiculite.



Figure 32: l'argile expansée.

L'argile expansée : il est construit industriellement à partir d'argile naturelle brute. Son conductivité thermique est de 0.10 à 0.16 w/m.k. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

II. 2. 2. 3. Les isolants d'origine végétale :

Le chanvre : il est une laine naturelle. (Fragos, M. M. et Trouillez, 2012). Sa culture est ancestrale. Son conductivité thermique est de 0.039 à 0.042 w/m.k. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

La chèvénotte: c'est le cœur de la tige, des particules de cellulose de 2 cm. Son conductivité thermique, si elle est non traitée et associée à la chaux, est de 0.5 w/m.k. La chèvénotte bitumée présente une conductivité de 0.06w/m.k. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

Le lin : il s'agit d'une plante annuelle à petites feuilles et jolies fleurs bleu violacé de 1m de hauteur. Elle est très sensible aux conditions de sol, de climat et de mauvaises herbes. C'est un matériau très écologique. Son coefficient de conductivité est entre 0,037 et 0,040 W/m.K. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

Le kenaf: c'est une plante cousine de coton. Sa conductivité thermique est de 0.043 w/m.k. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

Les fibres de coco et le corkoco : les fibres de coco sont des fibres multicellulaires dures issues de la bourre entourant la coque de noix de cocotier. C'est un épais mésocarpe fibreux composé en majeure partie en cellulose. Il est un produit écologique. Sa performance thermique est de 0.037 à 0.045 w/m.k. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).



Figure 37: le lin

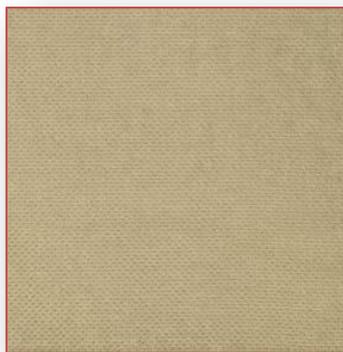


Figure 36: le chanvre



Figure 35: les fibres de coco

Source MM. Fragos et Trouillez 2012

Le liège : Le liège est un isolant naturel, issu d'un arbre méditerranéen. (MM. Fragos et Trouillez 2012). Il existe deux sortes de lièges, male et femelle. Pour l'isolation, c'est le liège male et le déchet de liège femelle qui sont utilisés. Pour la conductivité, le liège expansé en tant que panneaux 0.035 - 0.045 w/m.k et granulats entre 0.043 - 0.055 w/m.k. Pour le liège aggloméré λ est entre 0.044 - 0.049 w/m.k. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

La laine de coton : le cotonnier de culture est un arbuste à croissance rapide, elle peut atteindre 1.5m. Elle est polluante. Il est préférable d'utiliser le coton recyclé pour des raisons écologiques. Il est très perméable à la vapeur d'eau. La laine de coton est un bon régulateur hygrométrique. Elle offre une véritable source du confort pour l'habitat. Son conductivité thermique est de 0.037 à 0.040 w/m.k. (Fragos, M. M. et Trouilleux, 2012).

La ouate de cellulose : elle est issue du recyclage du papier. Elle est broyée, défibrée, malaxée, puis traitée pour résister aux agressions du feu, des insectes et des rongeurs. C'est un matériau écologique et performant avec une grande inertie thermique. Son conductivité thermique est de 0.038 à 0.043 w/m.k. (Fragos, M. M. et Trouilleux, 2012).



Figure 39: le liège



Figure 38: la laine de coton

Les isolants à base de bois : le bois est une matière naturelle renouvelable idéale pour la conception des isolants pour plusieurs raisons. Il est pratique, économique et écologique. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

Les isolants en fibre de bois :

Fibragglos: il s'agit d'un matériau naturel fabriqué à partir des fibres longues minéralisées des résineux et enrobées du ciment, de chaux ou du plâtre. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

Le bois minéralisé : il est issu du bois d'éclaircie du petit diamètre et des déchets d'entretien des forêts (l'épicéa). (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

La paille de lavande : pour l'isolation, il faut utiliser le déchet, en matière de paille, pour l'extraire de l'huile essentielle de lavande. C'est une source inépuisable et recyclable. Son conductivité est de 0.055w/m.k. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

Les roseaux : ils sont utilisés en rénovation, les panneaux des roseaux sont plus employés pour l'isolation extérieure des habitations. C'est une solution naturelle et écologique. son conductivité est de 0.056w/m.k . (Fragos, M. M. et Trouillez, 2012).



Figure 40: les fibres de bois



Figure 41: les roseaux

Le torchis : est un matériau naturel, renouvelable, recyclable et sain, le torchis est composé d'un mélange de paille, d'eau et d'argile ou de terre. Il est écologique et peu coûteux, il permet de réaliser des enduits un peu isolants. Son conductivité thermique est de $0,57$ à $0,59\text{ W/m.K}$. (Fragos, M. M. et Trouillez, 2012).



Figure 42: Le torchis. Source MM. Fragos et Trouillez 2012.

La toiture végétalisée : il s'agit de recouvrir un toit plat ou faiblement incliné par de la verdure. Il est un choix esthétique, isolant et écologique. Cela permet de réguler la température de la maison tout au long de l'année. (Fragos, M. M. et Trouillez, 2012).



Figure 43: la toiture végétalisée. Source MM. Fragos et Trouillez 2012.

II. 2. 2. 4. Les isolants d'origine animale :

La laine de mouton : c'est un isolant naturel, sain et écologique. Il faut pour sa préparation après la tonte, un trempage, un dégraissage, un rinçage et un traitement contre le feu, les moisissures et les insectes. Son conductivité thermique est de 0.035 à 0.042 w/m.k. (Fragos, M. M. et Trouillez, 2012).

La plume du canard : cet isolant est composé de 70% des plumes du canard, 10% de laine de mouton et 20% des fibres textiles thermofusibles (polyester). Son conductivité thermique est de 0.040 à 0.042 w/m.k. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).



Figure 45: la laine de coton



Figure 44: la plume de canard

Les isolants réflecteurs multicouches :

Les parements sont généralement composés d'aluminium ou d'un produit aluminé. Les couches intermédiaires sont de diverses natures (des épaisseurs de mousses souples ou des feutres d'origine animale ou végétale... Etc.). Les différentes couches des matériaux sont collées ou soudées. (Gallauziaux, T. et



Figure 46: les isolants réflecteurs multicouches
Source <http://www.isowebmatériaux.com/>

Fedullo, D. 2010).

II. 2. 2. 5. Les isolantes nouvelles générations :

Par plus d'amélioration, la nouvelle génération d'isolant par une épaisseur raisonnable, a une performance bien meilleure que celle classique.

Les aérogels : des matériaux nano-poreux aux caractéristiques futuristes conçues par Steven Kistler



Figure 47: les aérogels.
Source <http://www.lamy-expertise.fr/>

en 1931. C'est une matière solide la plus légère qui contient 99.8% d'air. Les principaux gaz utilisés dans ces matières sont l'azote et l'oxygène et un gel de silice en phase aqueuse. Les performances exceptionnelles des aérogels peuvent encore être améliorées par l'ajout du carbone à la silice. Son conductivité thermique est de 0.011 à 0.013 w/m.k. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

Les panneaux isolant sous vide : les premières applications sont apparues dans les années 1950. Ils constituent une amélioration de la technique des aérogels. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010). C'est un isolant mince, il est composé d'un matériau « âme » confiné dans un film étanche et mis en dépression. Leur conductivité thermique est de 0.0042 à 0.050 w/m.k. Ils présentent une performance exceptionnelle. (Fragos, MM. et Trouillez 2012).

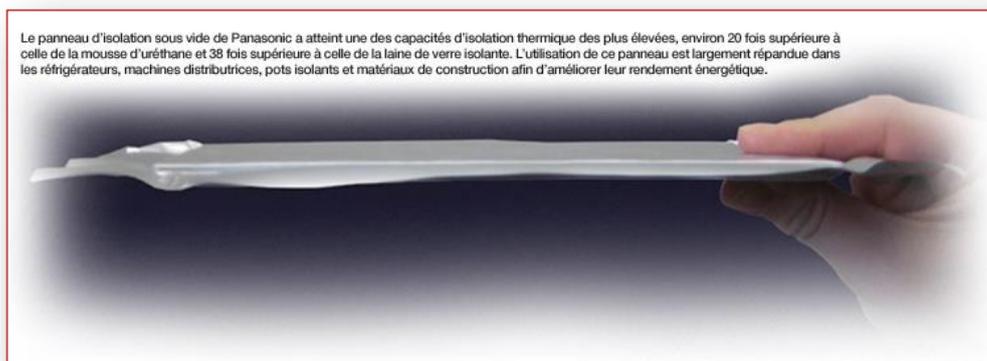


Figure 48: les panneaux isolants sous vide
Source <http://panasonic.ca/>

Le polyuréthane (PUR) ou polyisocyanurate : c'est un matériau généralement utilisé pour corriger les défauts d'isolation. Il s'agit d'un produit léger, efficace et adaptable. Mais, il est dangereux en cas d'incendie, car il dégage des gaz toxiques. Son conductivité thermique est de 0,022 à 0,030 W/m.K. (Fragos, M. M. et Trouillez, 2012).



Figure 49: le polyuréthane (PUR). Source
Fragos, MM. et Trouillez 2012.

La mousse phénolique : c'est une résine de phénol-formaldéhyde, elle est utilisée généralement comme isolant. Son conductivité thermique est de 0,018 à 0,035 W/m.K. (Fragos, M. M. et Trouiliez, 2012).

La peinture isolante réfléchissante : c'est une peinture acrylique à base d'eau, composée de quatre éléments céramiques liés par différentes résines. Elle permet l'isolation des murs intérieurs, des façades et même des toitures. W/m.K. (Fragos, M. M. et Trouiliez, 2012).

Peinture isolante en extérieur : Elle convient pour l'isolation thermique des façades et des toitures. Elle permet la conservation de chaleur en hiver et évite les surchauffes en été en réfléchissant les rayons solaires. Cette peinture résiste bien aux intempéries, aux moisissures et aux salissures. Il s'agit d'un crépi blanc. (Fragos, M. M. et Trouiliez, 2012).



Figure 50: la peinture isolante en extérieur.
Source MM. Fragos et Trouiliez 2012.

Peinture isolante en intérieur : La peinture isolante est utilisable pour l'intérieur. Dans ce cas, elle évite les déperditions de chaleur et régule le taux d'humidité. Elle répond aux raisons esthétiques par une large gamme des couleurs. (Fragos, M. M. et Trouiliez, 2012).



Figure 51: la peinture isolante en intérieur
Source : MM. Fragos et Trouiliez 2012

II. 2. 2. 6. L'isolation répartie :

C'est l'utilisation d'un matériau de construction pour la structure, le remplissage et l'isolation thermique.

Le béton cellulaire : c'est un matériau fabriqué à partir des ressources naturelles, 64% de sable blanc très pure, 15% de chaux, 20% de ciment, 1% de gypse et 1% - 0.05% des agents d'expansion comme la poudre d'aluminium. La conductivité thermique est entre 0.09 et 0.13 w/m.k. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).



Figure 52: le béton cellulaire

Les blocs bi-matières : il s'agit des blocs de construction monolithique composée du deux matériaux collés. La partie intérieure est en silico-calcaire. Ou en béton cellulaire pour supporter les charges. la partie extérieure est composés des blocs en béton cellulaire allégé pour assurer plus d'isolation. La conductivité thermique est de 0.064 w/m.k. Pour un mur de 36.5 cm de largeur. U_{mur} est de 0.18 w/m².k. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).



Figure 53: Les blocs bi-matières

Les blocs mono-murs en pierre poncé : il s'agit d'une roche volcanique connu depuis des milliers d'années. Elle contient 85% d'air emprisonné dans des nombreux pores et cellules fermées. D'ou elle obtient son pouvoir isolant élevé. Son conductivité thermique est de 0.099 à 0.11 w/m.k. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).



Figure 54: Les blocs mono-murs en pierre poncé :

Les blocs monomurs en billes d'argile expansée : un mur de 30cm a un U de 0.038 à 0.47w/m².k.



Figure 55: Les blocs monomurs en billes d'argile expansée

Les blocs monomurs en terre cuite : les briques à alvéoles horizontales, les briques à alvéoles verticales ou les monomurs en terre cuite sont très intéressants grâce à la performance thermique qui les caractérise. L'argile est collectée et entreposée à l'extérieur environ pour un an, puis en ajoutant de l'eau, le sable et la sciure de bois, le mélange sera broyé en granulés des petites dimensions et humidifié à la vapeur. Il sera passé à travers une filière ou une matrice pour créer les alvéoles intérieures. Enfin, c'est le séchage et la cuisson. Sa conductivité thermique est de 0.12 à 0.18 w/m.k. Pour 30cm de largeur U est de 0.37w/m².k. Si les blocs monomurs sont remplis par un autre isolant, la conductivité va chuter vers (0.08 à 0.09) w/m.k. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

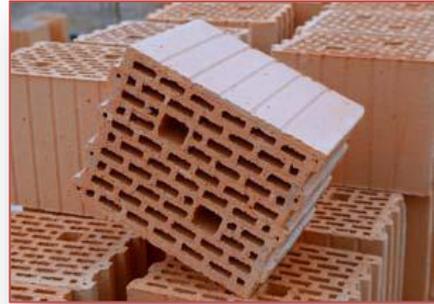


Figure 56: Les blocs monomurs en terre cuite

Les blocs de coffrage isolant : ils sont des blocs préfabriqués à isolation intégrée. Le principe est l'intégration de la structure porteuse entre deux isolants intérieur et extérieur. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).



Figure 57: Les blocs de coffrage isolant.
Source : Source MM. Fragos et Trouillez 2012

Toute cette variété des isolants donne à l'utilisateur l'occasion de choisir suivant plein des caractères tel que la capacité thermique, le coût et l'impact sur la santé des occupants et sur l'environnement. Un cycle de production courte, les matériaux les moins énergivores et les moins polluants possibles avec une bonne efficacité thermique présente toujours le meilleur choix. (J. P. Oliva 2007).

II. 2. 3. L'isolation du vitrage et de menuiserie extérieure

L'isolation de la partie compacte de projet ne signifie pas l'arrivée à la performance thermique souhaitée s'il ne soit pas complété par une prise en considération de la partie vitrée de l'enveloppe.

Les vitrages :

Le simple vitrage est caractérisé par une performance thermique (U_g) très faible de 5.7 à 6 $w/m^2.k$. A la fin des années 70, l'apparition du double vitrage afin d'emprisonner l'air entre deux vitres. La performance thermique d'un complexe de 4-12-4 est un U_g de 2.9 $w/m^2.k$. Si les verres sont de 6 mm U_g deviendra 2.8 $w/m^2.k$. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

Pour plus d'amélioration du vitrage, le double vitrage à faible émissivité donne un U_g de 1.7 à 1.9 $w/m^2.k$. Le remplacement de l'air entre les deux vitrages par un gaz plus isolant donne un U_g de 1.7 $w/m^2.k$. Le triple vitrage est caractérisé par très bonne performance thermique avec un U_g 0.5 à 0.8 $w/m^2.k$. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

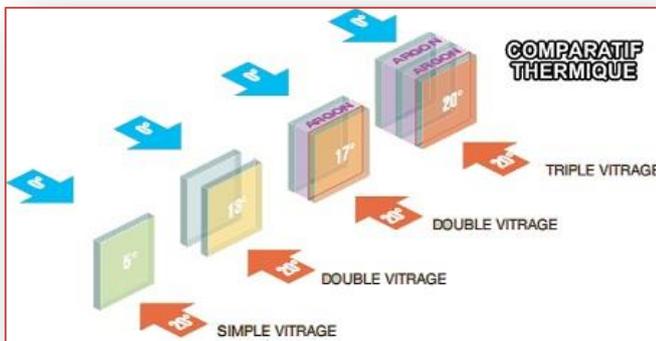


Figure 58: un comparatif thermique entre les types de vitrage.
Source <http://www.protection-securite-alarme.com/>

L'ajout d'un film de polyester enduit de fines couches métalliques entre les deux verres, U_g devient 0.9 à 1.3 $w/m^2.k$ avec un remplissage d'air. Si le remplissage est par un gaz rare U_g sera de 0.6 à 1.1 $w/m^2.k$. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

Les menuiseries : la performance globale d'une ouverture dépend aussi des châssis qu'ils soient de bonnes qualités isolantes, étanches à l'air et aux intempéries. Les différents matériaux utilisés pour la réalisation des châssis sont :

Le bois : est le matériau le plus anciennement utilisé dont il est caractérisé par sa grande isolation thermique et résistance mécanique. Mais son inconvénient principal est sa fragilité vis à vis les intempéries. Il a besoins d'un entretien fréquent. La solution est



Figure 59: la menuiserie en bois. Source <http://www.symbiose-nature-bois.fr/>

d'utiliser un châssis mixte le bois du côté intérieur et l'aluminium vers l'extérieur.

(Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

L'acier : le châssis en acier présente une résistance mécanique excellente mais son inconvénient est sa mauvaise isolation thermique. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).



Figure 60: une menuiserie en acier
Source <http://dpa-distribution.fr/>

L'aluminium : il est un grand conducteur de la chaleur mais cela peut être corrigé par une rupture des ponts thermiques. L'isolation est assurée par les vides d'air des alvéoles à l'intérieur des profilés. (Gallauziaux, T.



Figure 61: une menuiserie en aluminium
source <http://www.mcr06.com/>

et Fedullo, D. 2010).

PVC : un matériau très utilisé actuellement dont il présente une bonne propriété isolante. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

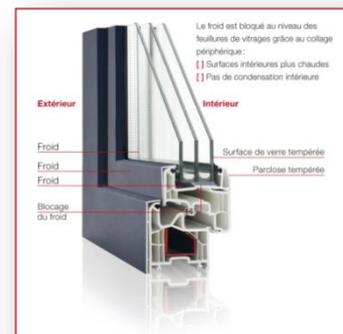


Figure 62: une menuiserie en PVC. Source : <http://www.leblogdubatiment.com/>

Les portes en bois : U_w est de 1.2 à 2.9 $w/m^2.k$. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

Les portes en aluminium : en ajoutant des ruptures de ponts thermiques U_w est de 1.8 à 2.2 $w/m^2.k$. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

Les portes en fibre de verre : 0.64 à 1.4 $w/m^2.k$. (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010).

II. 3. L'isolation thermique en Algérie :

Vu le manque des documents spécialisés dans le domaine de l'isolation thermique en Algérie, j'ai pris l'observation comme outil de recherche afin d'élaborer cette partie du chapitre.

II. 3. 1. L'état de lieu :

Généralement, l'isolation thermique en Algérie représente un domaine ignoré lors de l'édification des constructions de tous types. Une vue rapide sur le cadre bâti permet de montrer ce dernier.

Les logements collectifs :

En Algérie, l'édification des projets à caractère public est suite au cahier de charge qui exige la réalisation des murs extérieurs par double parois en briques creuses avec une lame d'air. Cette lame d'air n'est plus efficace suite aux nombre important des ponts thermiques et les malfaçons des ouvriers qui annulent l'isolation thermique. La disposition de la brique transversale provoque une liaison directe entre l'intérieur et l'extérieur en créant des infiltrations d'eau et des ponts thermiques avec des risques de condensation. (Mazouz, S. 2012).

Dernièrement, l'isolation par le liège aggloméré expansé ou de polystyrène des toitures terrasse a devenu une obligation dans l'habitat collectif.

Concernant la partie vitrée de la construction, le simple vitrage est le plus utilisé en Algérie. La menuiserie est peu étanche et participe à augmenter la perméabilité de l'enveloppe à l'air.

Les logements individuels :

Concernant l'habitat individuel, la grande majorité des constructeurs à caractère privé réalisent la paroi extérieure avec un mur unique sans prendre en considération ni la lame d'air ni un isolant thermique. Cette situation des logements provoque des déperditions thermiques important et augmente la consommation énergétique par les énergies fossiles afin de chauffer ou de climatiser l'intérieur.

II. 3. 2. La réglementation en isolation thermique

Les lois et les législations algériennes organisant le domaine d'efficacité énergétique prend en considération l'isolation thermique comme moyen essentiel pour régulariser la facture énergétique dans le pays. (Voir chapitre 4).

II. 3. 3. En voie de la recherche :

Afin d'intégrer l'isolation thermique dans le modèle de la construction algérienne, plusieurs recherches s'effectuent au niveau du CNERIB² et CDER³. L'objectif de ces recherches est d'améliorer la qualité des isolants et de choisir les plus efficaces. Des prototypes sont réalisés afin de répondre aux objectifs cités déjà.



Figure 64: le polystyrène pour l'isolation extérieur.

II. 3. 4. Les types d'isolants disponibles en Algérie :

L'isolant le plus disponible dans le marché algérien est le

polystyrène. Mais son utilisation est très limitée dans le domaine du bâtiment. La laine de verre, le liège et la perlite sont aussi présentes avec des petites



Figure 63: une épingle de chainage. Source auteur.

quantités.

L'introduction de l'isolation thermique aux bâtiments peut réduire vers 40% de la consommation d'énergie liée au chauffage et à la climatisation des logements. (MEM, 2011).

L'isolation thermique en Algérie reste encore à évoluer et à développer par plus d'application de la réglementation et plus du contrôle.



Figure 65: la perlite

² CNERIB : Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment, CNERIB, Soudania, Alger, Algérie.

³ CDER : Centre du Développement des Energies Renouvelable, Alger, Algérie.

Conclusion

La conception de l'enveloppe thermique est une phase très importante pour assurer la sensation de confort en économisant la consommation énergétique. Alors que l'ignorance de cette phase peut favoriser l'inconfort intérieur. L'augmentation de l'inertie thermique va diminuer les fluctuations des températures de l'extérieur.

Le rôle des matériaux de construction dans une enveloppe d'un bâtiment est primordial. Selon les critères objectifs ou individuels, leur choix a un impact direct sur la qualité de l'enveloppe thermique. Les caractéristiques thermiques des matériaux de construction vont permettre d'augmenter ou de diminuer la performance énergétique.

La relation entre la partie opaque et celle vitrée est complémentaire dans un enveloppe thermique. Le vitrage est nécessaire pour emprisonner l'énergie solaire pour le chauffage en hiver et protéger l'intérieur des déperditions thermiques ou des chaleurs intensifs. L'amélioration de la qualité des vitres peut contribuer à augmenter le confort thermique.

Pour plus de performance, une isolation thermique peut corriger les défauts d'étanchéité d'une enveloppe thermique. L'isolation va créer une barrière contre les fuites de la chaleur ou de la fraîcheur.

La grande variété des types d'isolants donne à l'utilisateur à choisir selon certain critères. Le respect de la santé de l'occupant, le coût convenable et l'efficacité sont des éléments à prendre en considération lors du choix.

L'isolation thermique en Algérie reste à évaluer à cause de l'ignorance presque totale de l'application de la réglementation.

*Chapitre trois : le confort
thermique.*

*"Le confort est un enjeu.
Moins un enjeu de convoitise
pour ceux qui aspirent au confort,
qu'un enjeu dans une société prise
entre une civilisation de l'être
et une civilisation de l'avoir."⁴*

Introduction :

L'abri humain doit assurer, en plus de la sécurité et de l'intimité, le confort thermique des occupants. Il s'agit de grouper quelques critères afin de protéger l'intérieur des effets négatifs du climat extérieur. L'intérêt donné au confort thermique remonte au 19^{ème} siècle avec les mouvements de la réforme des conditions de travail dans les usines et dans l'habitat (Bellara Louafi, S. 2004-2005).

Le confort thermique est important pour améliorer la qualité des ambiances intérieures, la santé et la production de l'occupant tout en préservant le bâtiment, minimisant la consommation énergétique et conservant l'environnement des pollutions liées à l'utilisation des énergies non renouvelable. (Kamajou, A. et al 2012, CERTU 2003).

Garantir un confort thermique optimal est impossible car cela est lié aux individus. La définition de la température intérieure est un compromis entre le confort d'usage et l'efficacité énergétique. (jean- Marie, 2008).

III. 1. Définition :

Donner une définition au confort thermique est primordiale afin de maîtriser la manière d'évaluer ce dernier pour l'augmenter si nécessaire.

Suite à la recherche bibliographique, plusieurs définitions sont données pour le confort thermique selon la considération de l'être humain soit comme un objet physique, une machine thermique autorégulée, ou une personne active affectée par ses sensations. (Moudjalled, B. 2007).

Pour Claude-Alain Roulet, le confort thermique est un état de bien être général et stable. (C-A Roulet 2004), alors qu'il est défini : *«comme la satisfaction exprimée à l'égard de l'ambiance*

⁴ D'après Dreyfus, J. 1960 Cité par Barroso-Krause, C. 1995.

thermique du milieu environnant. » par Jean-Yves Charbonneau. (Charbonneau, J-Y, 2004). Quant à B. Givoni, il le considère (le confort thermique) comme un état d'équilibre thermique entre le corps humain et son environnement. (Givoni, B. 1978).

La différence entre ces définitions est selon l'aspect pris en considération. Il s'agit des aspects physiologique, sensoriel et psychologique.

La notion de confort thermique dépend du contexte et des caractéristiques individuelles. Il s'agit d'un processus adaptatif dynamique qui intègre les différents mécanismes physiques, physiologiques et psychologiques. (Moudjalled, B. 2007). Alors qu'elle est une notion évolutive dans le temps et varie selon les géographies et les sociétés. (Mazouz, S. Sans date).

Une autre approche, définie par Slater consiste à considérer le confort comme « *un état plaisant d'harmonie physiologique, psychologique et physique entre un être humain et son environnement* ». Cette définition permet d'introduire le critère psychologique qui est, selon l'auteur, des critères indispensables pour se différencier de l'état de neutralité. (Slater, 1986 cit. par Gallissot, 2012).

III. 2. Les paramètres du confort thermique :

« *L'homme est un être homéotherme et dispose d'une stratégie métabolique efficace lui permettant de déclencher tout un processus de régulation qui facilite son adaptation au milieu.* » (Deval, J-C. 1984). Il s'agit d'un noyau central homéotherme et une écorce poikilotherme, (Teller, J. sans date.)

Les critères les plus importants pour déterminer un bilan thermique en participant au confort thermique sont des paramètres liés soit à l'environnement thermique ou à l'individu. La température de l'air, sa vitesse relative, la température moyenne radiante et le degré hygrométrique de l'air sont des paramètres liés à l'environnement thermique. Bien que l'activité métabolique et la résistance des vêtements sont des paramètres liés à l'individu. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005, Deval, J-C.1984).

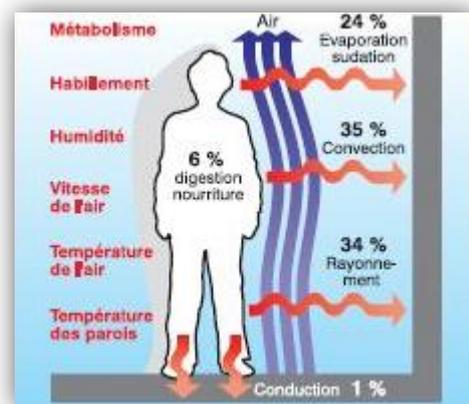


Figure 66: les facteurs influençant le confort thermiques.

III. 2. 1. La température de l'air (T_a) :

Il s'agit d'un premier facteur à contrôler. C'est la température d'air qui circule autour des occupants en déterminant le flux de chaleur entre l'air et l'individu. Lorsque la température est prise séparément, elle ne peut pas refléter une valeur précise du confort thermique. Alors qu'elle est considérée comme le paramètre le plus important. (Mazouz, S. sans date, Belmaaziz, M. 2011 -2012).

La température ambiante minimale pour le confort thermique dépend des autres paramètres comme la nature du travail effectué et le type du local. (Voir les deux tableaux).

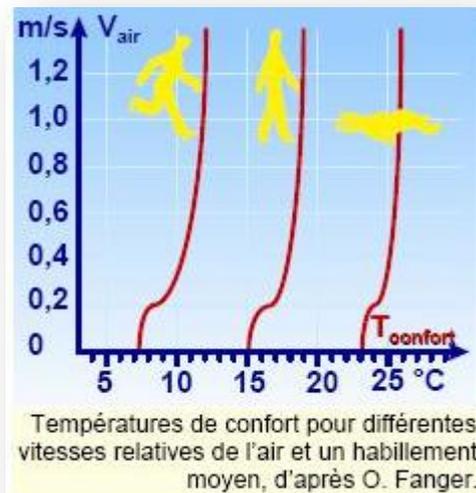


Figure 67: Température de confort pour différentes vitesses relatives de l'air et un habillement moyen, d'après Fanger, O.

Nature du travail exécuté	Température minimale obligatoire
Travail léger en position assise, notamment tout travail cérébral, travail de précision ou qui consiste à lire ou à écrire.	20 C°
Travail physique léger en position assise, notamment travail de couture avec machines électriques et travail sur petites machines outils	19 C°
Travail léger en position debout, notamment sur machine-outil	17 C°
Travail moyen en position debout, notamment montage et ébarbage.	16 C°
Travail pénible en position debout, notamment forage et travail manuel avec outils lourds.	12 C°

Tableau 1: la température ambiante minimale par rapport au travail effectué.
Source : Charbonneau, J. Y. 2004.

Type du local	Température minimale obligatoire
Locaux ou des gens habillés normalement sont au repos ou exercent une activité physique très légère. Par exemple un bureau, salle de cour, salle de réunion...etc.	21C°
Locaux ou des gens peu ou pas habillés sont au repos ou exerçant une activité physique légère. Comme une salle de soin médicale ou des vestiaires.	23 à 25 C°
Locaux ou des gens habillé normalement exercent une activité physique légère. Par exemple laboratoires, cuisines, ateliers.	17 C°
Locaux ou des gens peu habillés exercent une grande activité physique. Par exemple une salle de la gymnastique, salle de sport.	17 C°
Locaux qui sont des lieux de passage des gens normalement habillés comme les couloires, les corridors et les sanitaires.	17 C°
Locaux qui doivent être gardé à l'abri du gel comme les salles d'archive et les garages.	5 C°

Tableau 2: les valeurs de référence de la température ambiante.
Source : RGPT cité par M. Bodart 2002 cité par M. Mazari 2012.

III. 2. 2. La vitesse relative de l'air :

Il s'agit de la vitesse de l'air qui correspond aux mouvements d'air autour de l'individu. C'est un paramètre très important à cause de son influence sur les échanges de la chaleur par convection et l'augmentation de l'évaporation sur la surface de la peau. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005). L'agrandissement de la vitesse de l'air provoque l'augmentation des échanges thermiques. (Belmaaziz, M. 2011-2012).

A l'intérieur d'un bâtiment, la vitesse de l'air est ignorée lorsque elle ne dépasse pas 0.2 m /s. A partir cette valeur de vitesse, l'utilisateur de l'espace commence à ressentir le mouvement de l'air. (Belmaaziz, M. 2011-2012).

Ces courants d'air peuvent être positifs, s'il s'agit d'une ambiance chaude et humide. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005). Alors qu'une forte vitesse de l'air causé par une mauvaise conception du

bâtiment ou du système d'aération peut provoquer un inconfort lié à la présence des courants d'air chaud ou froid. (Mazari, M. 2012)

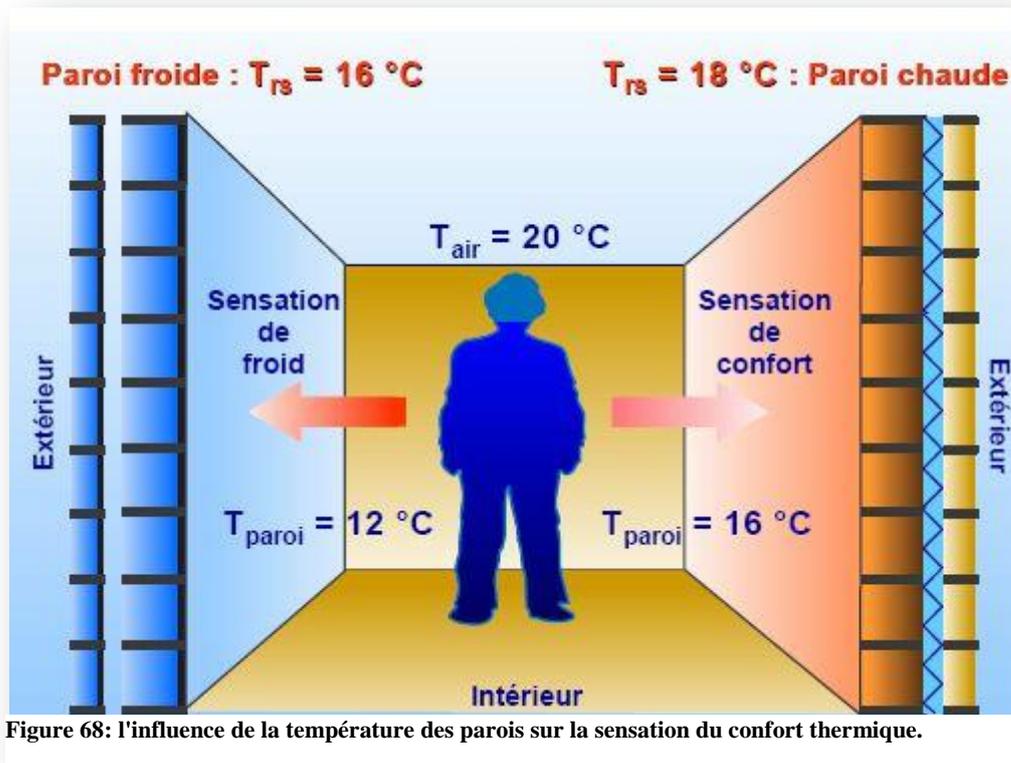


Figure 68: l'influence de la température des parois sur la sensation du confort thermique.

III. 2. 3. La température moyenne radiante (T_p) :

C'est la température des parois environnantes, son influence sur les échanges thermiques se fait par rayonnement. (A. Liébard et A. De Herde, 2005). Il s'agit d'un indicateur important pour le confort intérieur qui peut donner une idée sur la nature d'isolation et l'inertie thermique. (Mazouz, S. sans date).

Pour contrôler la température radiante d'une paroi, il suffit d'augmenter l'inertie thermique des parois en assurant un coefficient de conductivité thermique (k) égale ou inférieure de 1,2. Avec une différence entre la température d'air ambiant et celle des parois qui ne dépasse pas 5°C. (Mazouz, S. sans date).

III. 2. 4. Le Degré hygrométrique de l'air :

Il s'agit d'un rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température T_a et la quantité maximale qu'il peut contenir à cette même température. (Belmaaziz,

M. 2011-2012). De 30% à 70% d'humidité relative dans l'air est dans la plage de confort et ne présente que peu d'influence sur la sensation de confort thermique. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005).

L'air ne peut absorber qu'une quantité limitée de vapeur d'eau. Lors d'une ambiance chaude et dans une situation de saturation de l'air, le corps sera en état d'inconfort dû à une difficulté de transpiration de la peau. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005).

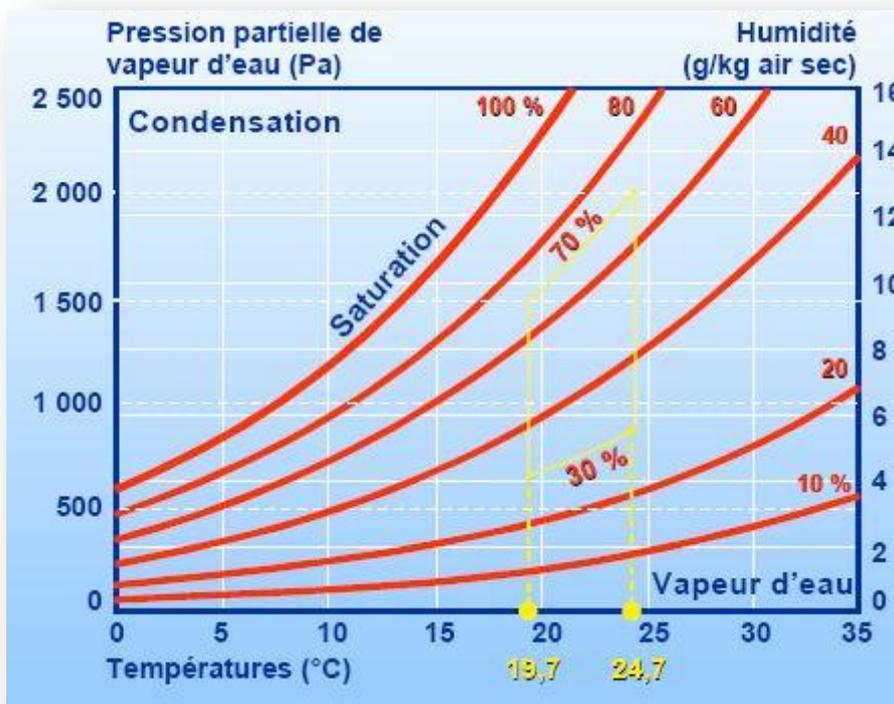


Figure 69:plage du confort pour une activité du bureau.

III. 2. 5. L'activité métabolique :

C'est la transformation de la nourriture consommée en éléments corporels (protéine et tissu) et en énergie avec de l'eau, du gaz carbonique et des déchets divers. Cette énergie produite va permettre à l'individu de faire l'effort physique ainsi que la production de la chaleur à l'intérieur du corps humain pour le maintenir autour de 36,7 °C. (Roulet, C. A. 2004). L'intensité du travail musculaire provoque une production importante de la chaleur. (Le Guay, M. sans date).

Le métabolisme est représenté par l'effort physique dépensé dans une activité et rapporté à l'unité de surface de corps de l'individu (w / m^2). (Benlatreche, T. 2006).

Un équilibre entre le métabolisme intérieur, le travail physique et les pertes vers l'environnement extérieur provoque une stabilité de la température intérieure du corps humain. (Belmaaziz, M. 2011-2012).

Trois types de métabolisme, selon l'activité physique de l'individu :

Métabolisme de base : 75 W la production de chaleur est par un processus végétatif (continu et inconscient).

Métabolisme du corps au repos : 105 W.

Métabolisme au travail : jusqu'à 700 W selon la pénibilité du travail. Il s'agit d'un métabolisme musculaire pour la production de la chaleur en affectant un travail contrôlable et conscient. (Benlatreche, T. 2006 , Belmaaziz, M. 2011-2012).

Le métabolisme est composé par deux parties, une purement thermique et une autre partie mécanique. (Ibid cité par Benlatreche, T. 2006).

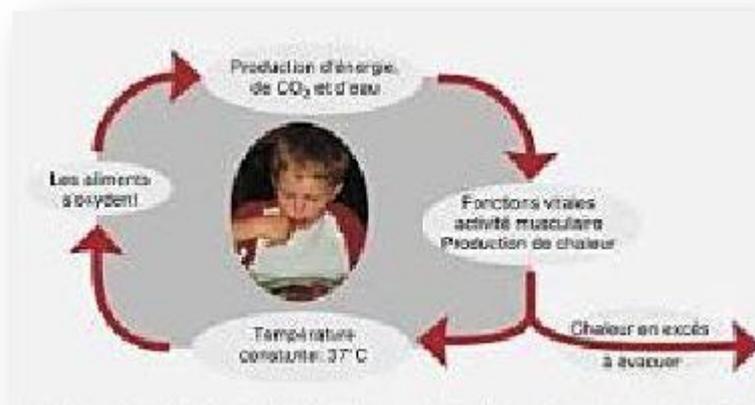


Figure 70: représentation schématique du métabolisme.

III. 2. 6. La résistance des vêtements.

L'habillement (H) est une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la peau et l'environnement. (Belmaaziz, M. 2011-2012). Sous la couche des vêtements se crée une zone tampon avec son propre microclimat par une température, humidité et vitesse de l'air spécifiques. Ces derniers restent dépendants de la ventilation naturelle sous cette couche (effet de pompage). (Boutaba, 2007, cité par Hamel, KH. 2012).

L'isolation des vêtements, leur pouvoir réfléchissant des rayonnements incidents et leur capacité d'absorption de vapeur d'eau produite par la peau favorisent ou gênent la thermorégulation. (Boutaba, 2007, cité par Hamel, KH. 2012).

Pour faciliter l'estimation des échanges de chaleur qui se produisent au travers des différentes couches d'air que contiennent les habits. Chaque type des vêtements est mesuré par une valeur relative exprimée en clo. (Benlatreche, T. 2006).

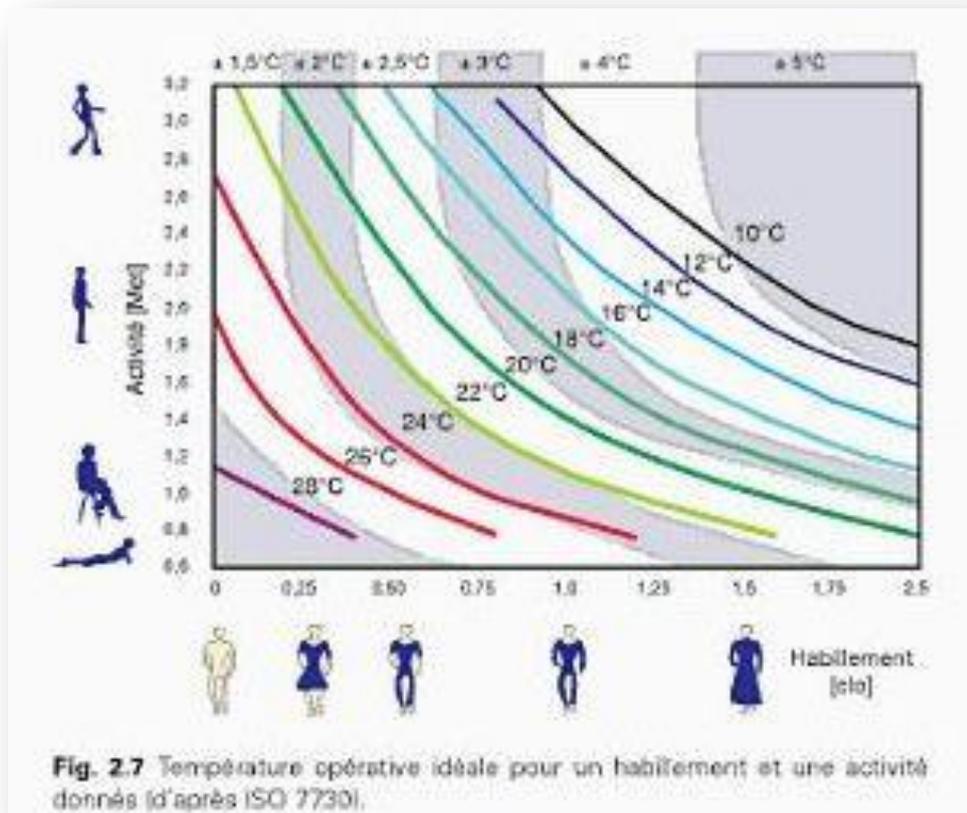


Fig. 2.7 Température opérative idéale pour un habillement et une activité donnés (d'après ISO 7730).

Figure 71: Température opérative idéale en fonction de l'habillement et du métabolisme. Source : ISO 1993 cité par Belmaaziz, M. 2011-2012

III. 3. Les échanges de chaleur entre le corps humain et l'ambiance environnementale :

Afin de réussir ses fonctions corporelles et métaboliques, le corps humain produit de la chaleur par transformation de la nourriture en énergie. (Hegger, M. et al 2011). Alors qu'il existe d'autres

mécanismes d'échange de la chaleur entre le corps humain et son environnement thermique. Le déplacement des calories est du plus chaud vers le plus froid.

Les différents types du transfert de la chaleur sont par convection, par conduction, par rayonnement et par évaporation.

En cas de basse température, le transfert de la chaleur se fait par convection, rayonnement thermique et conduction. Alors qu'en cas d'augmentation de la température, l'évaporation augmente pour refroidir la peau. (Hegger, M. et al 2011).

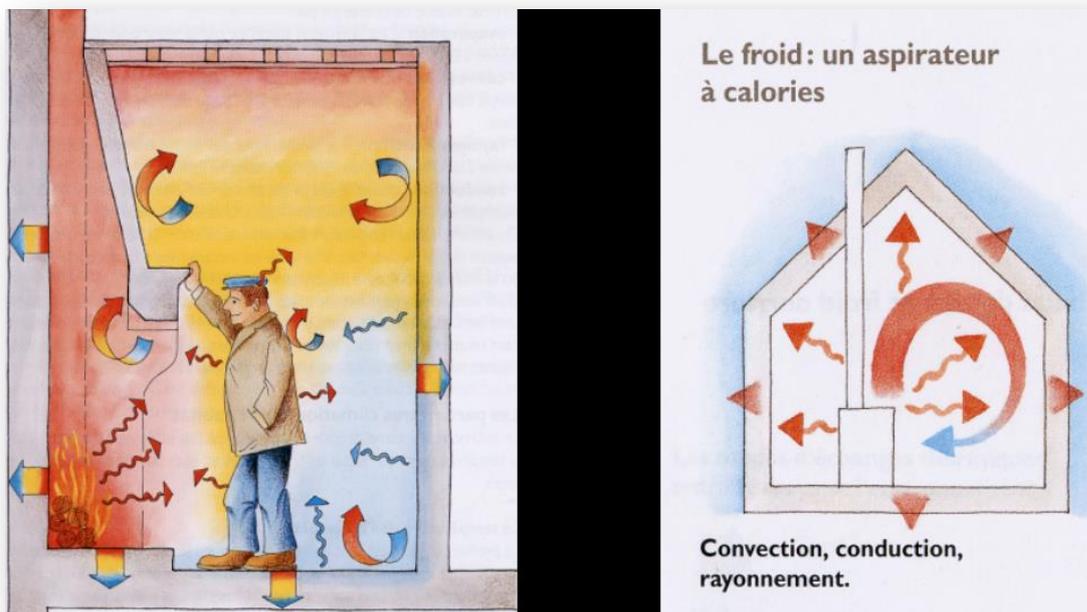


Figure 72: les types de transmission de la chaleur. Source Oliva, J. P. 2007.

III. 4. Les approches du confort thermique :

Deux approches principales pour le confort thermique, selon les voies de recherche dans ce domaine :

III. 4. 1. Approches analytiques (statiques) :

Cette première approche est basée, selon Cantin et al, sur le calcul du bilan thermique du corps humain, par des modèles physiques et physiologiques essentiellement. L'objectif est de prédéfinir la sensation thermique des individus pour déterminer les conditions du confort thermique. (Cantin, R. et al 2005).

III. 4. 1. 1. Aspect physiologique du confort thermique :

L'être humain est homéotherme. Il dispose d'un système de régulation interne pour préserver sa température entre 36.8 C° et 37.2 C° pour un individu au repos et entre 37.0 C° et 37.5 C° pour un individu en action. (Mazari, M. 2012)

Pour déterminer les grandeurs physiologiques de l'individu (température cutanée, température interne et mouillure cutanée), des modèles physiologiques du système de thermorégulation ont été développés. Ces derniers utilisent comme variables d'entrée les caractéristiques de l'ambiance thermique (température de l'air, température radiante des parois, vitesse de l'air et l'humidité relative) et celles des individus (l'âge, le sexe, le poids, la taille, les vêtements, l'activité...etc.). Les résultats sont des indices pour prévoir le confort thermique des donnés proposés. (Cantin, R. et al 2005).

III. 4. 1. 2. Aspect physique du confort thermique :

Il s'agit de gérer les fluctuations de la température par les échanges thermiques avec l'ambiance extérieure. Par conduction, convection, rayonnement et évaporation le corps humain peut maintenir sa température interne vers 37°C en assurant l'équilibre thermique du corps avec son environnement (Moujelled, B. 2007).

L'augmentation de la chaleur produite à l'intérieur du corps par rapport à celle perdue dans l'environnement va provoquer l'élévation de la température interne du corps et son réchauffement. Dans le cas inverse, cela va créer le refroidissement du corps avec un abaissement de sa température interne. (Moujelled, B. 2007).

L'augmentation de la chaleur interne du corps est aussi par le métabolisme.

III. 4. 1. 3. Aspect psychologique du confort thermique :

La sensation du confort thermique par les individus est différente par rapport à la façon dont l'occupant perçoit et évalue son milieu et la situation dans laquelle se trouve.

« Le bien être ne se réduit pas aux données mesurables mais qualifie des sensations individuelles ressenties lorsque les conditions d'environnement semblent confortable ». (Hegger , M. et al 2011).

Plusieurs modèles ont été développés pour ce genre de calcul. Le modèle de Fanger est le plus utilisé par le PMV (vote moyen prévisible). (Cantin, R. et al 2005).

Ces expériences se déroulent dans des chambres climatiques en contrôlant les conditions de confort environnementales (températures, vitesse et humidité d'air, éclairage ou niveau sonore) et celles

spécifique aux sujets expérimentés (activité, vêtue, températures cutanées ou internes, réponses perceptives et affectives). Malgré la maîtrise des aspects physiques et physiologiques du confort thermique, les chambres climatiques présentent certains manques, sans introduire les composantes psychologiques des mécanismes de régulation qui peut améliorer le confort thermique. (Moujelled, B. 2007).

III. 4. 2. Approche adaptative :

Cette approche introduit l'utilisation des bâtiments in situ pour les investigations. Cela va donner aux occupants plus de liberté pour intervenir lors de l'expérience par l'ouverture des fenêtres s'il fait chaud, l'utilisation des ventilateurs... etc.

Cette approche attire l'attention des chercheurs par son efficacité à correspondre le confort perçu par les occupants. (Cantin, R. et al 2005).

Dans le contexte où se déroulent les études, l'occupant réagit dans son ambiance en s'adaptant par deux manières :

- ✓ **Une adaptation personnelle** : c'est une adaptation liée aux changements en relation directe avec les occupants par modification des paramètres du confort, les vêtements et l'activité. Alors que d'autres comportement comme le changement du lieu. (Mazari, M. 2012).
- ✓ **Une adaptation environnementale et technologique** : cette adaptation est en relation directe avec le bâtiment et l'environnement des occupants par le contrôle manuelle des installations en ouvrant ou en fermant une fenêtre...etc. (Mazari, M. 2012).

III. 5. Les causes d'inconfort :

Pour bien maîtriser la situation du confort thermique, il est important de connaître les causes d'inconfort pour les éviter. L'insatisfaction thermique peut être le résultat d'une zone d'inconfort dans l'environnement des occupants.

III. 5. 1. Les courants d'air :

La sensation d'un courant d'air, surtout en hiver, peut provoquer la diminution de la température intérieure par

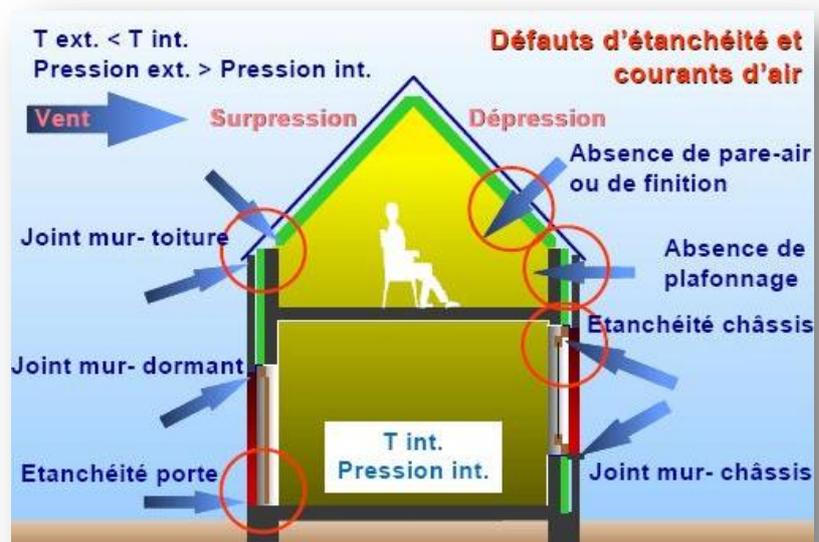


Figure 73: les défauts d'étanchéité comme sources de courant d'air. Source : Liébard, A. et De Herde, A. 2005.

convection. Les occupants vont augmenter la chaleur intérieure. Donc ce facteur d'inconfort agit directement sur la consommation énergétique. (Hegger, M. et al 2011).

Cette perception du courant d'air dépend de la température de l'air, la vitesse de l'air et les parties du corps concernés. Par exemple, la nuque et le visage sont plus concernés par la sensation d'inconfort thermique. (Mazari, M. 2012).

III. 5. 2. L'asymétrie d'un rayonnement thermique :

La grande différence entre la température des parois provoque à l'organisme un inconfort lié au transfert de chaleur. La paroi chaude réchauffe la partie du corps qui est du son côté. Alors que la paroi froide refroidit la partie du corps en exposition. (Le Guay, M.). L'occupant va sentir mal à cause de cette différence.

Selon B. Moujelled, la différence de température entre les différentes parois asymétriques ne doit pas dépasser 10°C s'il s'agit d'une paroi froide comme une baie vitrée et 5°C s'il s'agit d'un plafond chaud. (B. Moujelled 2007). Bien que C. A. Roulet considère que 4°C de différence entre la tête et les pieds résulte 10% d'insatisfaits (la limite maximale du confort) et un plafond chaud est moins supporté qu'un plafond froid alors qu'une paroi chaude est préférée à une paroi froide. (Roulet, C. A. 2004).

III. 5. 3. Le gradient thermique vertical de l'air :

Généralement, la température augmente en montant. La norme exige une différence de 3°C entre le niveau de 0.1m et 1.1m (la hauteur d'une position assise) pour éviter l'augmentation de la chaleur au niveau de la tête par rapport aux pieds. (Vogt 1995, J. J. cité par Mazari, M. 2012).

III. 5. 4. La température du sol :

La température trop basse ou trop élevée représente un autre facteur d'inconfort. Hoffman est un des chercheurs qui ont précisé cette notion, alors qu'Olsen BW propose 23°C comme température du sol pour une personne debout et 25°C pour une personne assise. (Mazari, M. 2012).

La garantie d'une ambiance intérieure confortable nécessite la prise en considération des facteurs d'inconfort en les éliminant. Ces facteurs d'inconfort sont causés par des défauts de conception, d'isolation ou d'enveloppe. La température ressentie est très influencée par les courants d'air inconfortable, l'asymétrie des rayonnements thermiques, le gradient thermique des températures et la température du sol. L'homogénéité entre la température de l'air sec et celle des parois de l'espace assure le confort thermique intérieur.

III. 6. Stratégies d'évaluation du confort thermique :

En prenant compte de l'importance du confort thermique pour les individus, plusieurs études et expérimentations par des différents chercheurs ont permis de développer des nombreuses méthodes d'évaluation. (Mazouz, S. sans date). Ce souci d'évaluer le confort thermique a conduit les chercheurs d'élaborer des indices de prédiction des niveaux de bien-être à l'intérieur en références aux différentes réponses physiologiques et sensorielles. (Givoni, B. 1978). La représentation graphique est aussi présentée pour l'évaluation du confort thermique par les diagrammes bioclimatiques en relation direct avec la connaissance du climat. (Mazari, M. 2012).

III. 6. 1. Les indices d'évaluation du confort thermique :

Des nombreuses tentatives ont été effectuées pour développer les indices thermiques. (B. Givoni 1978). Ces derniers sont réalisés dans des chambres climatiques ou in situ, sur des mannequins ou avec des êtres humains (Moujelled, B. 2007). Cela est pour recensé les principales causes d'inconfort et pour faire sortir certains nombres d'indices qui sont « *les indices de confort thermique* ».

III. 6. 1. 1. Les indice PMV et PPD :

Le Professeur Fanger a développé une méthode qui permet d'analyser et d'évaluer l'ambiance thermique pour déterminer les conditions du confort thermique par une étude sur 1300 personnes dans des chambres climatiques sous des conditions stables. (Moujelled, B. 2007).

Il a établi deux indices du confort thermique, le PMV (*Vote Moyen Prévisible*) qui présente la sensation thermique moyenne d'un large groupe d'individu et le PPD (*Pourcentage Prévisible D'insatisfaits*) qui est le pourcentage des personnes insatisfaites dans l'ambiance thermique. (Mazari, M. 2012)

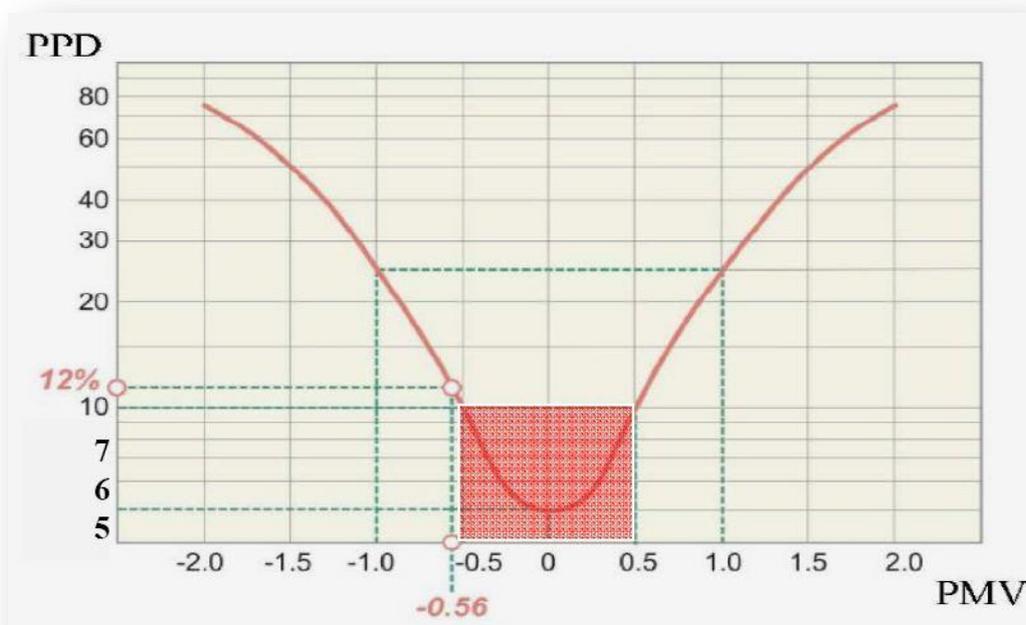


Figure 74: correspondance entre PMV et PPD. Source M. Mazari, 2012

➤ **PMV (Vote Moyen Prévisible) :**

Le PMV est un indice établi par Fanger, il permet de mesurer une sensation thermique globale du corps humain à partir du métabolisme et exprime la sensation thermique moyenne éprouvée par un large groupe des sujets sur l'échelle de sensation thermique de l'ASHRAE. (Mazari, M. 2012, Cantin, et al 2005). Cet indice permet d'évaluer le niveau de confort thermique atteint dans un local et de fixer la température du confort thermique optimal. (Mazouz, S. sans date).

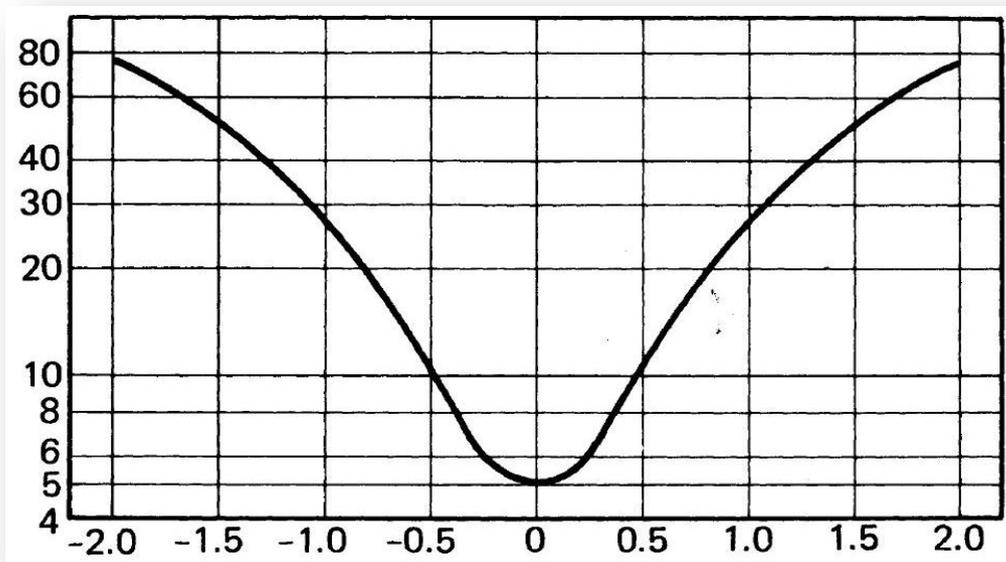


Figure 75: PMV source Mazouz, S. sans date)

Fanger a considéré que toutes les personnes ayant une sensation en dehors de l'intervalle (-1, +1) sont considérées inconfortables (Mazari M., 2012).

➤ **PPD (Pourcentage Prévisible D'insatisfait) :**

« Il est plus facile d'évaluer le manque de confort que le confort. » (W. Rybczynski, Cité par Hamel, Kh. 2012).

Le PPD est un indice exprimant le pourcentage prévisible des occupants qui

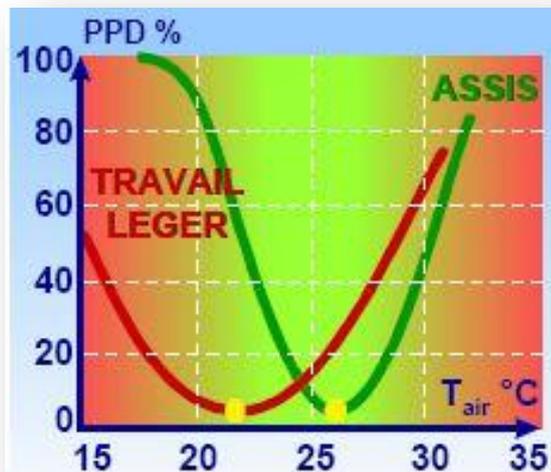


Figure 76: PPD la température du confort par rapport au deux activités différents. Source : A. Liébard et A. De Herde, 2005.

considèrent que les conditions thermiques dans une situation sont inconfortables. Le pourcentage minimum de cet indice ne descend jamais au dessous de 5% n'importe quelles que soient les données d'ambiance thermique. (Mazouz, S. sans date).

Cet indice est en relation direct avec le PMV pour déterminer l'acceptabilité de l'ambiance thermique. (B. Moujelled 2007). La norme ISO 7730 considère que pour être dans la zone du confort thermique, il faut que : (ISO 7730, 1994 Cité par Mazari, M. 2012)

$-0.5 > PMV < 0.5$ soit $PPD < 10\%$.

III. 6. 1. 2. Indice de la température effective :

Il s'agit d'un indice qui a été développé aux U.S.A. sur la base des expériences du confort ressenti par des sujets d'essais. La température effective se présente sous une forme des abaques en fonction de la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse de l'air et le degré d'habillement. (Mazouz, S. sans date et Givoni, B. 1978).

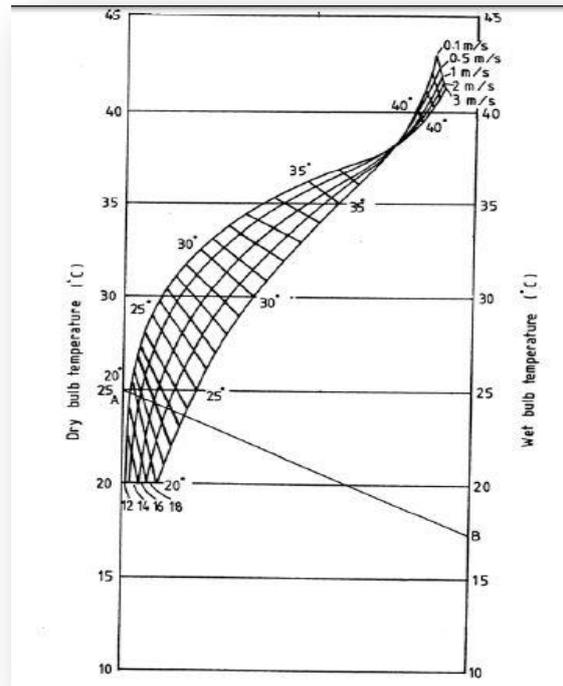


Figure 77: indice de la température effective. Source Missenard 1948 cité par B. Givoni 1978.

III. 6. 1. 3. Indice de la température résultante :

Cet indice a été développé par A. Missenard (1948) en France. Son principe repose sur l'hypothèse qu'une base plus solide d'indice thermique pourrait être formée par des essais ou l'équilibre thermique serait assuré entre le corps et son environnement pour que les effets d'humidité et de la vitesse de l'air soit connu. (Givoni, B. 1978).

Par les résultats expérimentaux est issu un nomogramme pour le corps vêtu. (Mazouz, S. sans date).

III. 6. 1. 4. Indice de la température efficace :

Cet indice a été développé par Houghton et Yaglou en 1923. Il inclut les facteurs de la température de l'air, l'humidité relative et la vitesse de l'air. (Mazouz, S. sans date).

Sur la base de cet indice, la température de l'air immobile est saturée avec une vitesse moyenne de 0.12 m/s. (Mazouz, S. sans date).

III. 6. 1. 5. Indice de la contrainte thermique :

Selon B. Givoni, il s'agit d'un « modèle biophysique décrivant les mécanismes d'échanges de chaleur entre le corps et l'environnement à partir duquel la contrainte thermique totale s'exerçant sur le corps (métabolisme + ambiance) ». (Givoni, B. 1978).

Cet indice peut être calculé par la formule : (Givoni, B. 1978).

$$S = (M - W) + C + R * 1/f$$

Ou :

S : taux de la sudation requis, (en équivalent Kcal/h)

M : métabolisme, (Kcal/h).

W : énergie métabolique transformé en travail mécanique, (Kcal/h).

C : échange de chaleur convective, (Kcal/h).

R : échange de chaleur radiante, (Kcal/h).

f : efficacité de refroidissement de la sueur, sans dimension. (B. Givoni 1978).

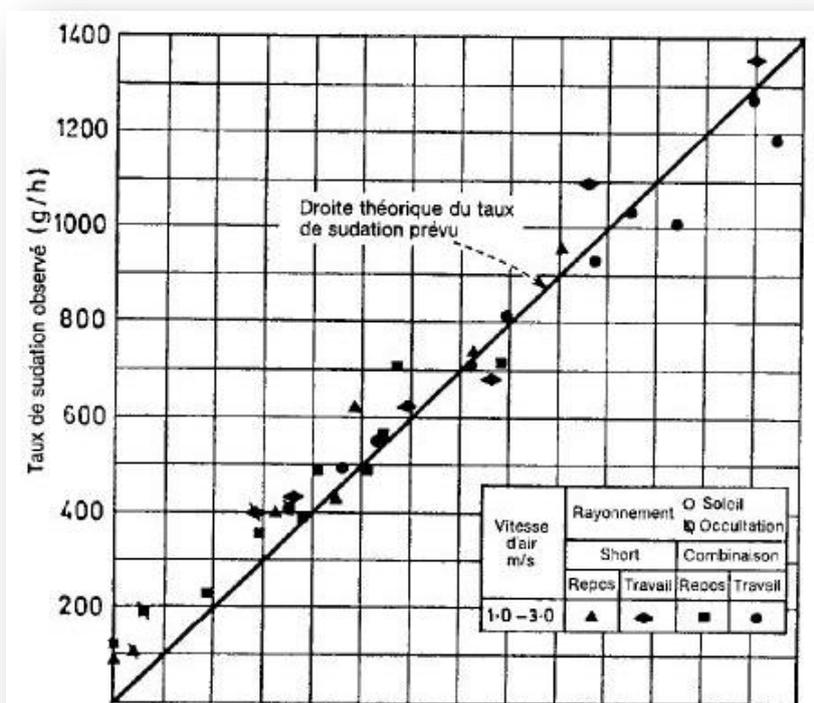


Figure 78: Mesures du taux de sudation sous l'exposition au rayonnement solaire et corrélation avec l'indice de la contrainte thermique. Source B. Givoni 1978

III. 6. 1. 6. Température opérative :

C'est un indice du confort thermique composé par deux paramètres physiques, la température de l'air et celle des parois réfléchissantes. (Cordier, N. 2007 cité par Mazari, M. 2012). Il s'agit d'une température du confort ressentie (énergie +, 2012 cité par Hamel, Kh 2012).

La formule pour calculer la température opérative, si la vitesse de l'air ne dépasse pas 0.2 m/s, est : (Mazouz, S. sans date).

$$T^{\circ} \text{opérative} = (T^{\circ} \text{air} + T^{\circ} \text{parois})/2$$

Activité	Métabolisme (en met)	Résistance thermique du vêtement (en clo)	Température opérative en (°C)
Repos, sommeil	0.8	2.2	18 (±3)
Activité sédentaire	1	1.5	20 (±2.5)
Activité légère	2	1	16 (±3)
Activité forte	3	1	10 (±4)
Hygiène personnelle	1.4	0	27 (±1)

Tableau 3 : valeur de la température opérative selon le degré d'habillement et la nature d'activité.

III. 6. 2. Domaine d'application des indices :

Pour résumer sur l'importance des indices thermique afin d'évaluer le confort thermique et par la connaissance des prévisions des indices thermiques et leurs résultats expérimentaux des tests physiologiques, Givoni propose les conclusions suivantes : (Givoni, B. 1978).

Température effective (T.E) : Cet indice est considéré comme le moins sûr, par rapport aux autres indices, dans les prévisions des réponses physiologiques et sensorielles ainsi que pour le confort thermique. (Givoni, B. 1978).

Température résultante (T.R) : son fiabilité est satisfaisante pour déterminer les réactions au repos ou engagés dans une activité sédentaire. (Givoni, B. 1978).

Indice de contrainte thermique (I.C.T) : cet indice est valable pour l'analyse des contributions des facteurs du métabolisme et d'ambiance et pour la prédiction de l'effort physiologique imposé aux sujets au repos et au travail. (Givoni, B. 1978).

III. 6. 3. Les outils d'évaluation graphique du confort thermique :

Après l'étude des indices du confort thermique, il y a un autre outil pour évaluer le confort thermique en étudiant les éléments de l'environnement par l'outil graphique. Ce sont les diagrammes bioclimatiques :

Plusieurs modèles des diagrammes bioclimatiques sont développées par les chercheurs. Les plus connus sont : le diagramme bioclimatique de Givoni, celle d'Olgay, les tableaux de Mahoney...etc.

III. 6. 3. 1. Définition du diagramme bioclimatique :

Le diagramme bioclimatique est un outil d'aide à la décision globale du projet. Il permet de choisir entre les grandes options architecturales pour répondre aux exigences du confort thermique sans oublier de prendre en considération les caractéristiques du climat extérieur. (Mazouz, S. sans date).

Le principe d'un diagramme bioclimatique est de disposer sur le même graphique, « *le polygone du confort* », un climogramme qui représente les conditions du climat extérieur et les solutions architecturales avec leur influence thermique et hygrométrique pour répondre aux besoins du confort thermique. (Mazouz, S. sans date).

III. 6. 3. 2. Le diagramme bioclimatique d'Olgay :

Les frères Olgay ont précédé chronologiquement les recherches pour approfondir la notion du confort thermique. C'est « *une procédure systématique pour l'adaptation de la conception aux exigences humaines et aux conditions climatiques* ». (Givoni, B. 1978). Il s'agit d'une méthode basée sur un diagramme bioclimatique qui met en évidence la zone du confort thermique en relation avec la température d'air ambiant, l'humidité, la température radiante moyenne, la vitesse du vent, le rayonnement solaire et la perte de chaleur évaporatoire. (Givoni, B. 1978).

Ce diagramme détermine une zone du confort avec des plages d'été et d'hiver et les mesures de correction dans le cas où la combinaison entre l'humidité et la température se situe hors la zone de confort.

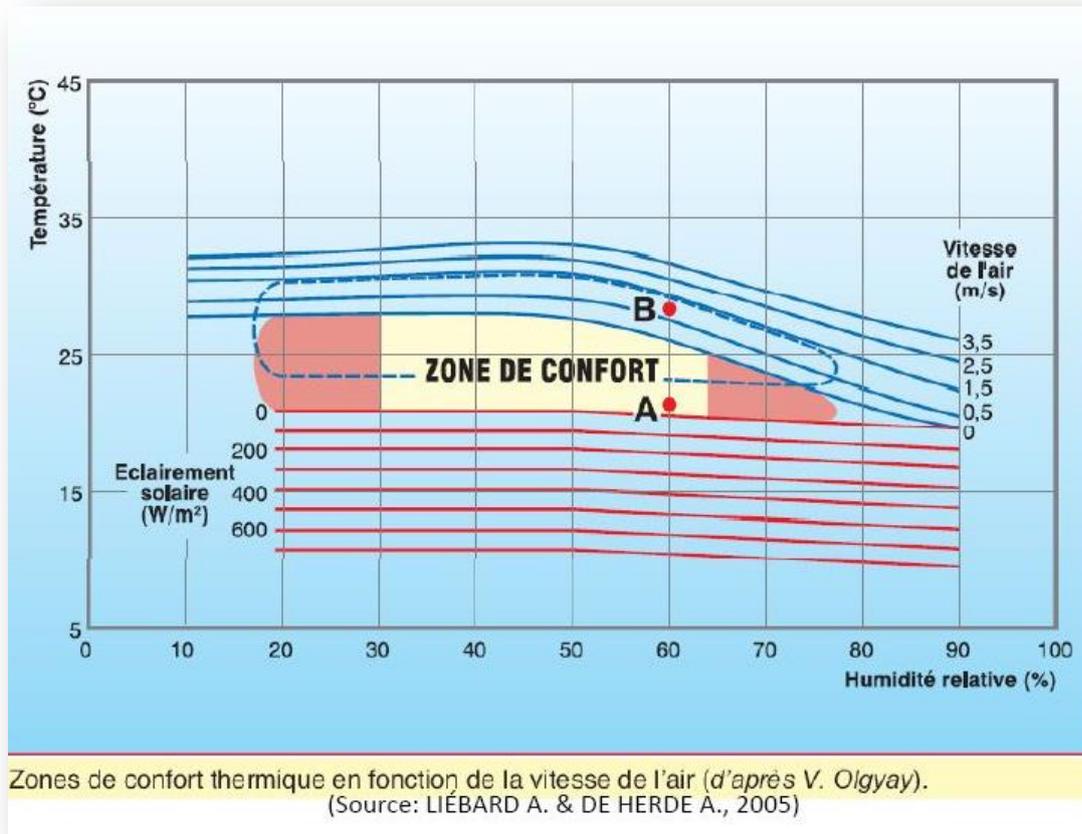


Figure 79: Zones de confort thermique en fonction de la vitesse de l'air (d'après V. Olgyay). Source : A. Liébard et A. De Herde, 2005.

La démarche de cette méthode consiste à :

1. Collecter des données climatiques locales, la température, le vent, les rayonnements et l'humidité. (Givoni, B. 1978).
2. Composer un catalogue annuel des données climatiques avec la formation d'une série de diagramme montrant la répartition annuelle des éléments du climat. (Givoni, B. 1978).
3. Introduire ces données collectées sur le diagramme bioclimatique en déterminant les différentes stratégies. (Givoni, B. 1978).

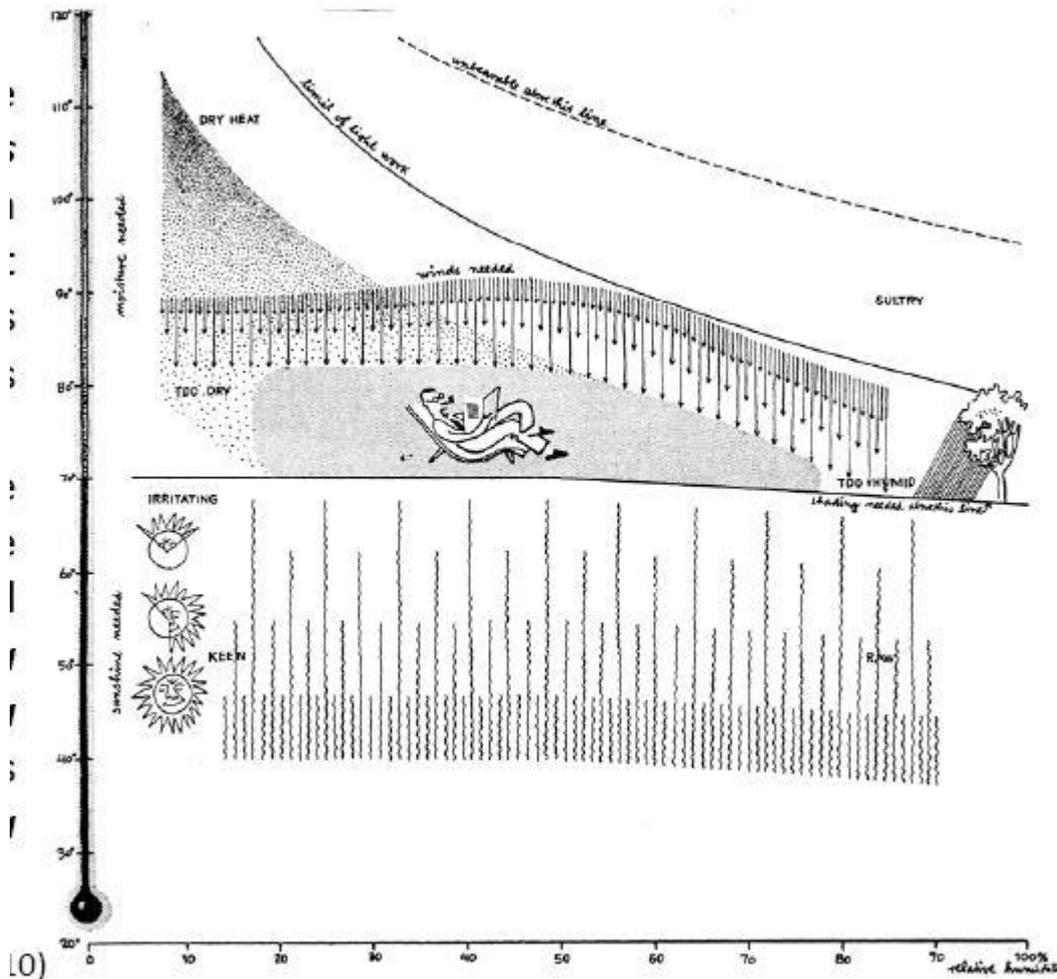


Figure 80: le diagramme bioclimatique d'Olgay. Source B. Givoni 1978

III. 6. 3. 3. Le diagramme bioclimatique de Givoni :

B. Givoni a inventé une méthode expérimentale basée sur les travaux d'Olgay, mais plus performante que ce dernier, pour l'évaluation des exigences physiologique du confort thermique.

Le diagramme de Givoni est basé sur les études du métabolisme et les diverses voies d'échanges thermiques entre le corps et l'environnement. (Givoni, B. 1978). Givoni prend en compte la personne en état d'activité pour définir le confort thermique par l'intermédiaire de son diagramme bioclimatique. (M. Mazari 2012).

Ce diagramme bioclimatique représente les limites des ambiances confortables en deux parties : la zone du confort et la zone qui entoure la première et qui représente les conditions supportables. (Givoni, B. 1978).

La méthode de Givoni prend en compte l'indice de contrainte thermique pour évaluer les exigences physiologiques du confort afin de déterminer les grandes lignes de conception avec une estimation du climat intérieur attendu sous les conditions ambiantes données. (Givoni, B. 1978).

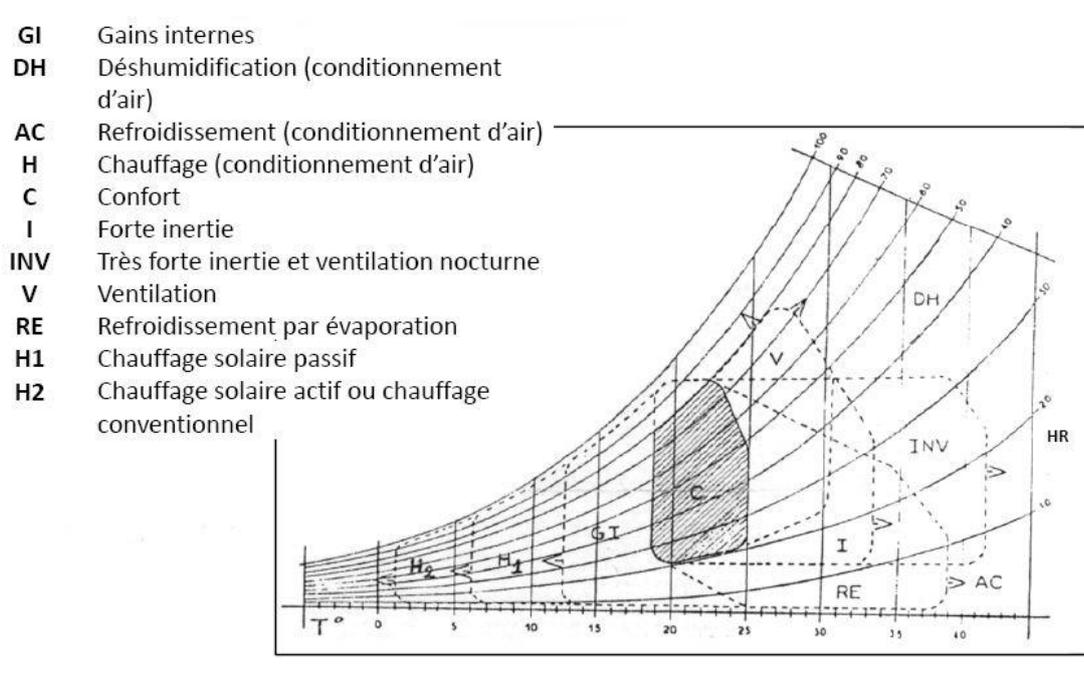


Figure 81: Diagramme Bioclimatique de Givoni. Source Mazouz, S. sans date.

III. 6. 3. 4. Les tables de Mahoney :

Carl Mahoney a développé une autre forme d'évaluation du confort hygrothermique et du traitement des données climatiques par une suite des tableaux. Ce travail a été évalué par le département des études tropicales de l'association architecturale à Londres. (Sayigh et al. 1998 cité par Hamel, Kh. 2012).

Il s'agit de décomposer la méthodologie, selon KH. Hamel, en trois étapes : (Hamel, Kh. 2012).

1. Étude des projets au stade du croquis.
2. Élaboration du projet.
3. Détail d'exécution des ouvrages.

Les tableaux de Mahoney sont six, quatre sont utilisées pour entrer les données climatiques :

- ✓ Températures.
- ✓ Humidité, précipitation et vent.
- ✓ Comparaison des limites de confort et du climat.

- ✓ Indicateurs : par comparaison des données des tables précédentes, classification l'humidité ou de l'aridité du chaque mois.

Les deux derniers tableaux sont pour les recommandations architecturales.

A travers les tableaux de Mahoney, l'architecte peut tirer des recommandations des éléments architecturaux d'un projet. (Mazouz, S. sans date).

INDICATEURS						RECOMMANDATIONS
H1	H2	H3	A1	A2	A3	
						Plan masse 1. orientation suivant un axe longitudinal E-O 2. plan compact avec cour intérieure Espacements 3. grands espacements entre les bâtiments 4. idem avec protection contre le vent 5. plan compact Circulation d'air 6. circulation d'air permanente 7. circulation d'air intermittente 8. circulation d'air inutile Ouvertures 9. grandes ouvertures des façades N et S 10. très petites ouvertures (10 à 20 %) 11. ouvertures moyennes (20 à 40 %)
						Murs 12. murs légers 13. murs massifs Toitures 14. toitures légères et isolantes 15. toitures lourdes Sommeil en plein air 16. sommeil en plein air Protection contre la pluie 17. protection contre la pluie

La table de recommandations pour le climat de Bagdad (Irak) (d'après C. Mahoney).

Tableau 4: les tables de Mahoney; la table de recommandations pour le climat de Bagdad (irak) (d'après C. Mahoney). Source: Liébard, A. et De Herde, A. 2005.

III. 6. 3. 5. La méthode de Szokolay:

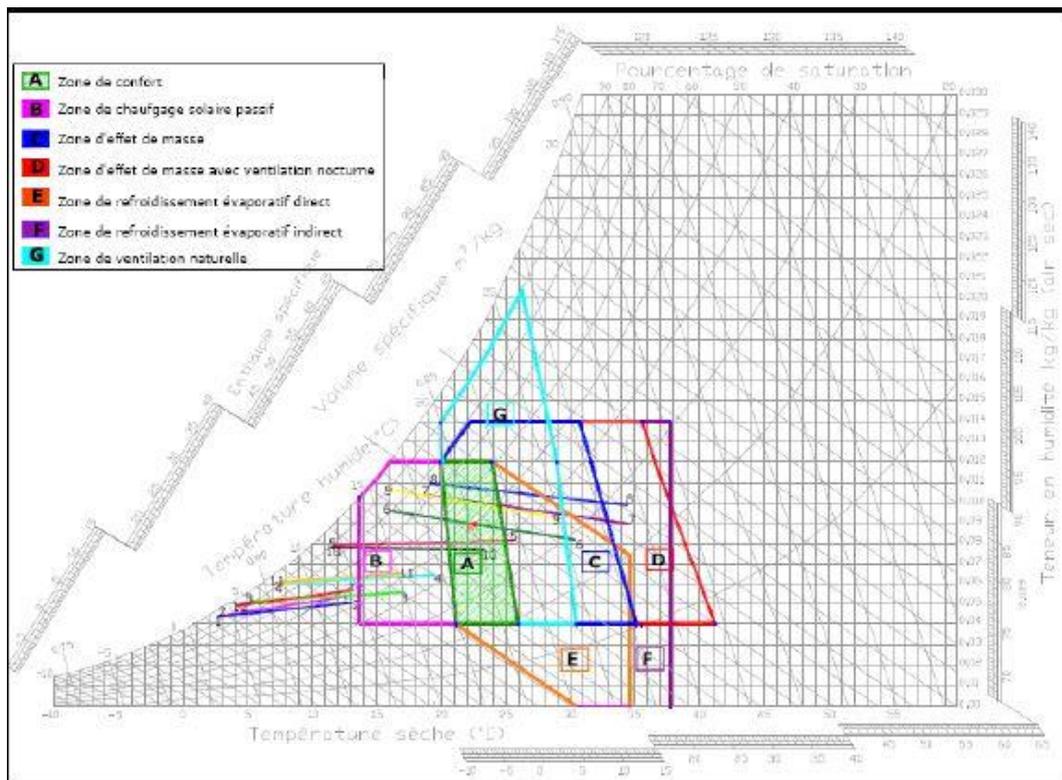


Figure 82: le diagramme de Szokolay. Source Benhalilou, K. 2008

Ce diagramme est développé par M. Evans et S. V. Szokolay en 1981 suite aux critiques formulés à l'encontre des outils proposés précédemment. Il s'agit d'une méthode qui établit la zone neutre du confort avec les différentes zones du contrôle potentiel selon les données climatiques propres à la région d'étude. Cela est pour éviter l'incohérence entre le confort thermique calculé et le confort perçu par les sujets. (Hamel K., 2012).

III. 6. 4. La simulation thermique du confort :

C'est l'utilisation d'un logiciel thermique pour déterminer l'impact relatif des paramètres bien définis tel que la géométrie, les matériaux, l'orientation...etc. sur l'évaluation du confort.

L'importance de la simulation est la possibilité de comparer entre les différentes variantes au stade de la conception afin de choisir entre les paramètres du projet en vérifiant la situation du confort durant toute l'année. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005).

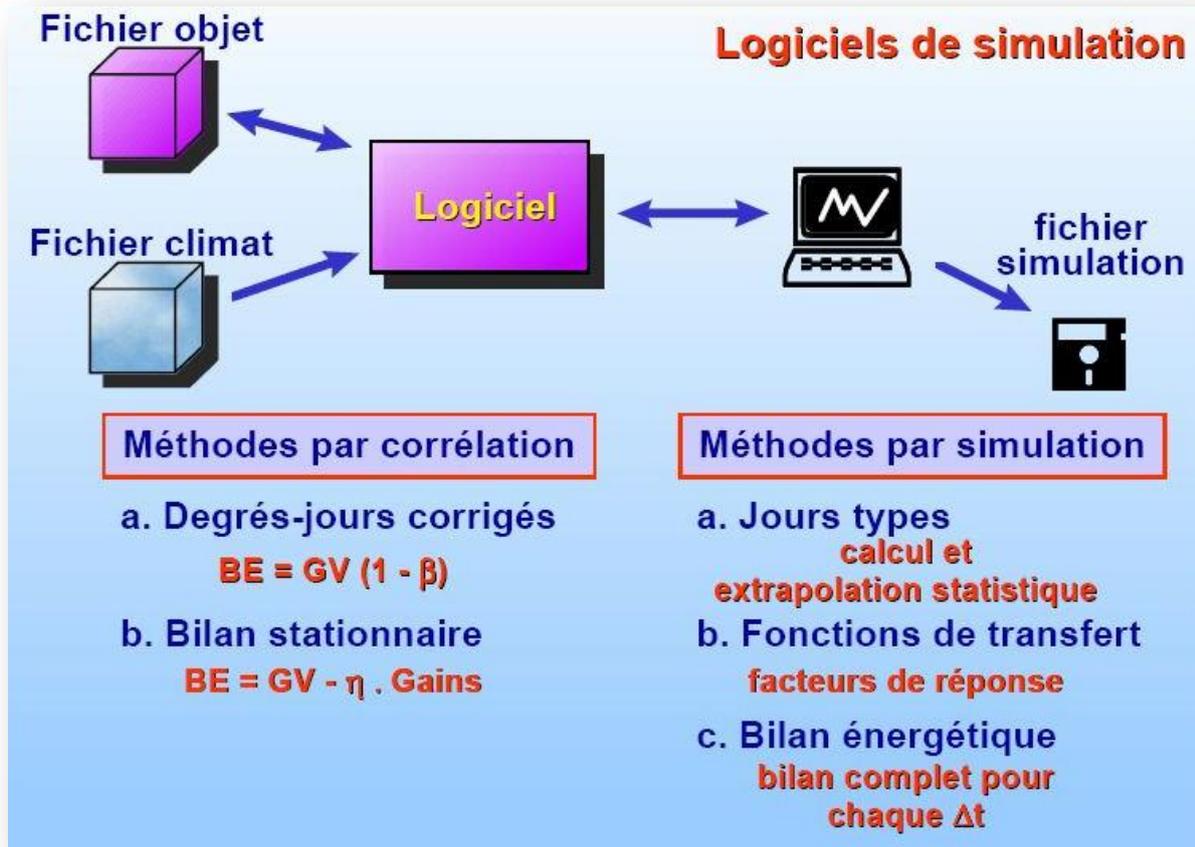


Figure 83: méthode de calcul des logiciels de détermination des données thermique. Source Liébard, A. et De Herde, A 2005

Conclusion :

L'étude du confort thermique et son influence sur l'occupant de l'espace permet aux architectes de prendre des décisions à un stade précoce de la conception architecturale. Son élaboration nécessite l'intervention de six paramètres qui sont la température de l'air ambiant, l'humidité relative, la vitesse de l'air, la température radiante moyenne, l'habillement et le métabolisme.

La relation du corps avec son ambiance thermique est complémentaire. Par les échanges thermiques, le corps peut atténuer les variations extérieures de la température afin de stabiliser sa température interne et de faire adapter les individus à leur environnement thermique.

D'après les études et les recherches présentées sur le confort thermique, deux approches majeures sont fondées pour maîtriser les besoins hygrothermique des utilisateurs de l'espace, une approche analytique et une autre adaptative.

La première approche consiste à considérer l'occupant comme une machine thermique et un récepteur passif des données climatiques et prédire le confort thermique à travers des indices et des calculs dans des chambres climatiques. (Moudjelled, B. 2007).

Alors que l'approche adaptative considère l'utilisateur de l'espace comme un modificateur actif de l'espace. L'expérience se déroule dans les lieux d'habitation ou de travail ordinaires du sujet et donne à l'occupant la chance de modifier l'espace selon sa vision à son environnement thermique. Les deux approches sont complémentaires et le choix entre eux est selon le besoin du chercheur. (Moudjelled, B. 2007).

Le dernier point traité par ce chapitre est l'évaluation du confort thermique. Cette évaluation est par plusieurs manières. Les indices sont à prendre en considération pour recenser les causes d'inconfort ou d'améliorer les conditions du confort. Les diagrammes bioclimatiques sont des outils pour prendre les bonnes décisions concernant le projet architectural. La simulation thermique est efficace afin d'améliorer les conditions de vie des occupants en termes du confort thermique.

Ce chapitre est une étude théorique qui est une introduction à l'étude expérimentale dans la partie pratique.

Chapitre quatre : l'expérience algérienne dans le domaine de haute performance énergétique.

Introduction

La construction rapide des logements à travers tous le territoire national, sans prendre en considération les spécificités climatiques de chaque région, a provoqué la création d'un secteur énergivore avec plus de 39% de la consommation énergétique par rapport aux autres secteurs d'activités en Algérie. (Rapport Aprue 2009 cité par Imessad, K. 2011).

L'augmentation rapide de cette consommation dans le secteur résidentiel et tertiaire, la rareté future attendue des ressources fossiles et le souci donné au développement durable en Algérie ont poussé les décideurs de considérer l'axe de maîtrise de l'énergie comme une priorité.

L'assurance de la performance énergétique est un des objectifs de la réglementation algérienne pour rattraper le retard marqué dans ce domaine. Des programmes nationaux sont en cours de réalisation pour appliquer les procédures de la maîtrise d'énergie.

Dans ce chapitre, l'objectif est de savoir la situation énergétique du secteur résidentiel en Algérie par la présentation de la consommation d'énergie, la qualité des systèmes constructifs, la réglementation relative à la maîtrise de l'énergie et faire un descriptif des expériences existantes pour économiser la consommation énergétique en assurant le confort intérieur.

IV. 1. La consommation énergétique :

A travers le monde entier et depuis la préhistoire, l'énergie a présenté un souci pour la vie de l'être humain. Il s'agit de l'énergie naturelle non fossile telle que le soleil, le vent et la force des animaux. L'apparition de la révolution industrielle a mené à l'utilisation des énergies fossiles comme le charbon en premier temps puis le pétrole et le gaz naturel.

L'amélioration du mode de vie actuel a provoqué une augmentation intensive de la consommation énergétique mondiale.

IV. 1. 1. La consommation énergétique au monde :

Suite à l'apparition des énergies fossiles au vingtième siècle, la consommation énergétique a été multipliée par presque vingt fois. (Meritet, S. 2010).

Chapitre quatre : l'expérience algérienne dans le domaine de haute performance énergétique.

Selon l'EIA, la consommation a augmenté de 42% entre 1990 et 2008 et attend que celle-ci atteindra jusqu'à 53% entre 2008 et 2035. (EIA, 2011 cité dans S. Semahi 2013).

La consommation énergétique mondiale actuelle est basée sur 88% des énergies fossiles. Le pétrole présente plus de 35%, le charbon avec 29%, le gaz avec 24% et les énergies renouvelable par 7%. (Meritet, S. 2010).

Le changement de la politique énergétique vers la maîtrise d'énergie est essentiellement pour mettre fin au réchauffement climatique et d'éviter l'épuisement des sources d'énergie fossile en limitant l'émission du gaz à effet de serre. (Meritet S., 2010).

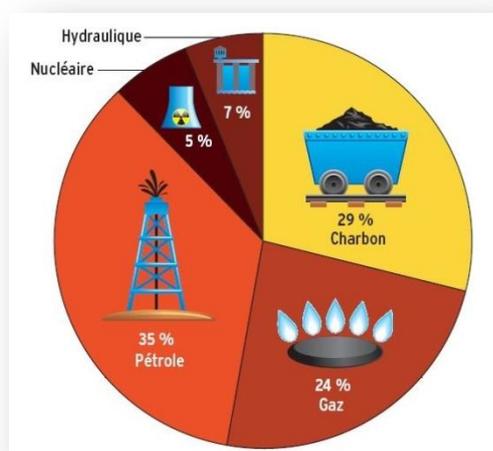


Figure 84: la consommation d'énergie primaire en 2009. Source BP statistical Energy Review cité par S. Meritet 2010.

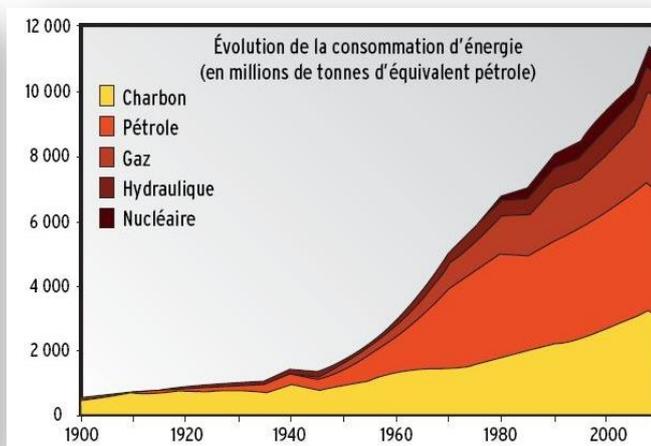


Figure 85: Evolution de la consommation d'énergie au monde (en TEP). source Source BP statistical Energy Review cité par S. Meritet 2010.

IV. 1. 2. La consommation énergétique en Algérie :

Après l'indépendance, avec la grande vitesse d'urbanisation, la consommation de l'énergie n'a cessé d'augmenter avec l'amélioration des conditions de vie, la qualité des constructions énergivores et la facilité d'utilisation de l'énergie fossile.

La consommation énergétique a atteint selon l'Aprue 30 million de TEP⁵ avec un taux de croissance de 6.5%/an entre 2000 et 2012. Le secteur résidentiel est considéré comme le secteur où la consommation est le plus rapidement évolué par 7.4%/an. (MEM, APRUE, 2014).

⁵ Tonne Equivalent Pétrole.

Chapitre quatre : l'expérience algérienne dans le domaine de haute performance énergétique.

85% de la consommation d'énergie finale provient des sources épuisables. Avec le rythme de consommation actuelle de 6% par an, ces réserves vont s'épuiser d'ici 2030. (APRUE, 2011, cité par Besselchi, M. 2013).

L'augmentation de la consommation énergétique a provoqué en conséquence une croissance des émissions des gaz à effet de serre.

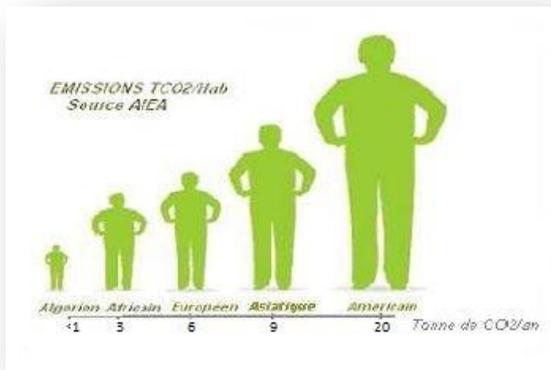


Figure 87: les émissions du gaz à effet de serre par habitants. Source AIEA cité par Aprue 2014.

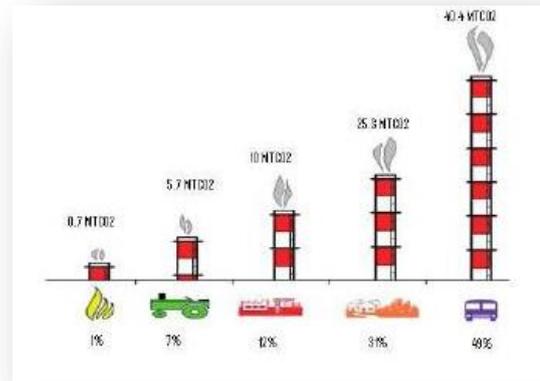


Figure 86: le GES selon le secteur d'activité. Source Aprue 2014.

IV. 1. 2. 1. La consommation énergétique par type d'énergie :

La consommation nationale d'énergie a atteint 53.3 Mtep en 2013 avec une croissance de (+5.5%) par rapport 2012. (MEM, 2014).

✓ Produit pétrolière :

Ce type du produit énergétique est principalement utilisé dans tous les secteurs d'activité par la production de chaleur pour l'industrie, le chauffage pour les ménages, le tertiaire et le transport...etc.

La consommation de ce produit représente 30% de la consommation total de l'énergie avec une augmentation de 5.5% en 2013 (MEM, 2014).

✓ Gaz naturel :

Son utilisation est principalement pour le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire et la cuisson. La consommation du gaz naturel a augmenté par un taux de croissance annuel moyen (Tcam) de 8.1%/an de l'année 2000 à 2012. (MEM, Aprue, 2014). Il représente le produit le plus dominant en consommation par 35%. (MEM, 2014).

Chapitre quatre : l'expérience algérienne dans le domaine de haute performance énergétique.

✓ Electricité :

L'utilisation d'électricité est très importante dans tous les secteurs en Algérie. Sa consommation a connu un taux de croissance annuel moyen (Tcam) de 6.8%/an entre 2000 et 2012. (MEM, Aprue, 2014). Elle représente 28% de la consommation totale en énergie. (MEM, 2014).

La forte urbanisation a provoqué l'augmentation rapide de la consommation d'électricité.

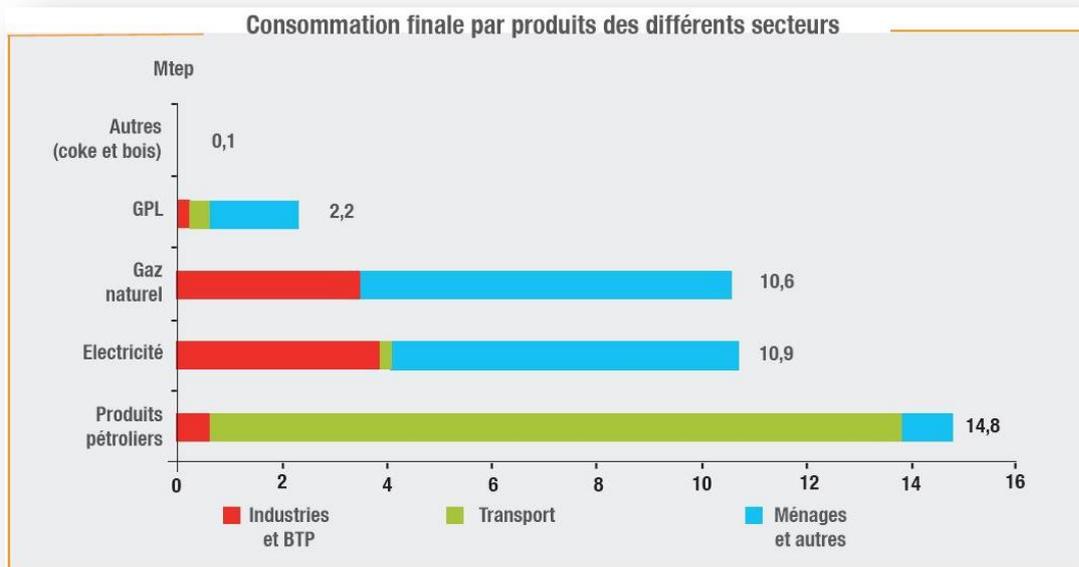


Figure 88: Consommation finale par produits des différents secteurs.

Source MEM, 2014.

IV. 1. 2. 2. La consommation énergétique par secteur d'activité

La consommation énergétique selon les différents secteurs est selon l'APRUE et le ministère d'énergie. (APRUE, 2014, MEM 2014) :

✓ Le secteur ménages et autre :

Ce secteur est caractérisé par une forte augmentation de la consommation énergétique de (+9%) pour être 16.4 million TEP en 2013. Cela est causé par l'accroissement de la consommation du résidentiel. (MEM, 2014).

Chapitre quatre : l'expérience algérienne dans le domaine de haute performance énergétique.

✓ **Le secteur du transport :**

L'augmentation de la consommation énergétique dans ce secteur est par (+3.7%) pour être 8.2 million TEP en 2013. (MEM, 2014)

✓ **Secteur industriel :**

L'augmentation de la consommation énergétique dans ce secteur est par (+3.9%) pour être 13.9 million TEP en 2013. Cela est causé par l'évolution du transport routier. (MEM, 2014)

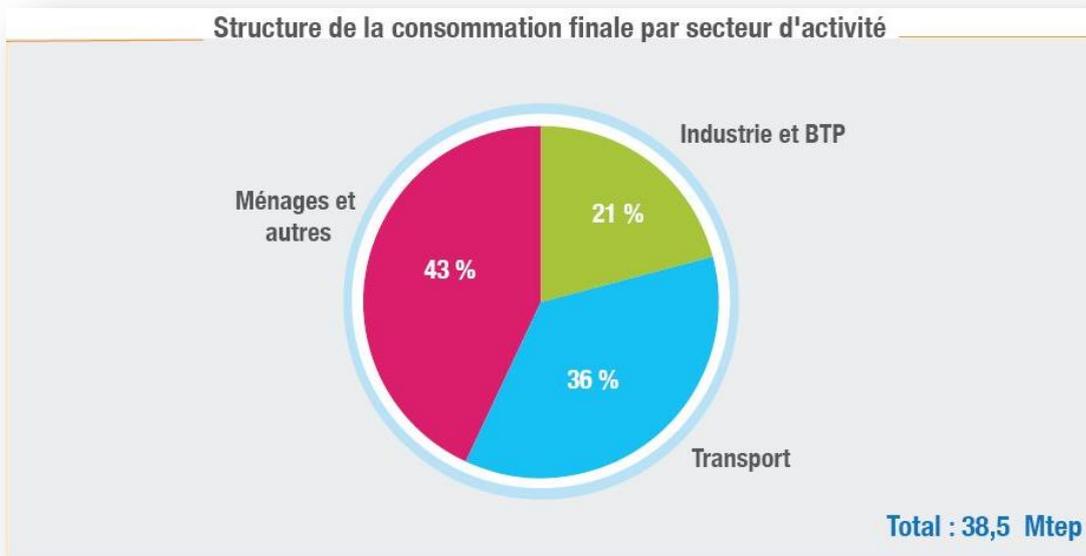


Figure 89: Structure de la consommation finale par secteur d'activité.
Source MEM, 2014.

Une vision rapide sur la consommation énergétique mondiale ou en Algérie montre que le confort thermique aujourd'hui est pesé par la consommation énergétique. Alors que pour cette étude l'objectif est d'améliorer les conditions du bien être sans augmenter la facture énergétique.

IV. 2. L'état énergétique des systèmes constructifs en Algérie :

Le secteur résidentiel est caractérisé en Algérie par des réglementations inappliquées sur site suite à l'absence du contrôle dans ce domaine. (Chabane, L. 2010)

Cette partie est pour visualiser le niveau de la performance énergétique des logements construits en Algérie.

IV. 2. 1. l'état de production des logements en Algérie :

La progression du rythme de construction avec une variété des sites d'implantation pose la question sur la qualité des techniques et les matériaux de construction pour l'intégration de ces bâtiments aux différents climats sur le territoire Algérien. (Chabane, L. 2010).

Vu l'absence des études et des statistiques bien détaillées sur le sujet, ce travail est basé sur l'observation sur site.

IV. 2. 2. Les techniques de construction :

La construction en Algérie est caractérisée par une uniformisation des systèmes constructifs pour répondre à un objectif de rapidité avec une facilité d'exécution. (Chabane, L. 2010).

Il s'agit d'une ossature en béton armé composé par la jonction poteau- poutre avec un remplissage en briques creuses en terre cuite. Cette structure est composée par des semelles isolées sous poteaux, des poteaux, poutres et poutrelles en béton armé coulées sur place. Le coffrage utilisé pour le coulage du béton armé est en bois.

Les planchers sont composés par des poutrelles en béton armé, des hourdis en ciment préfabriqués ou en terre cuite et une couche de béton armé de 4 cm. Les escaliers sont en béton armée.

Ce système de construction est presque le même sur tous le territoire Algérien avec les mêmes matériaux de construction.

Pour les grandes entreprises, c'est le système d'ossature en béton armé en murs porteurs avec des planchers pleins de 15 cm en béton armée. C'est un système peu utilisé, que pour la réalisation des grands ensembles.



Figure 90: projet du AADL. Source www.aadl.com

IV. 2. 3. Les matériaux de construction :

Les matériaux de construction sont presque standards suite à leur généralisation sur tout le territoire national. Les différents types présents sur les chantiers sont :

✓ **La brique :**

Elle est en terre cuite ou en parpaing, c'est le matériau le plus utilisé pour le remplissage extérieur ou la séparation intérieure suite à la facilité de son utilisation dans la construction. La brique creuse en terre cuite est en deux types, la brique en 8 ou en 12trous. Les murs extérieurs sont en double parois en briques creuses séparées par une lame d'air. La brique pleine reste inutilisable.

✓ **Le béton armé :**

C'est un mélange du ciment, sable, gravier et de l'eau. Il est caractérisé par sa grande résistance mécanique. Son coulage est sur place dans le chantier par des planches en bois. Son utilisation est pour la structure, les planchers pleines, les escaliers, les linteaux...etc. (Hraoubia, I. 2011).

✓ **L'acier :**

Il s'agit des barres de 12m utilisés pour armer le béton. Sa production reste insuffisante en Algérie.

✓ **Le bois :**

Il est utilisé pour la menuiserie, les charpentes, le coffrage...etc.

✓ **Le verre :**

Il est utilisé pour les vitrages des ouvertures, c'est du simple vitrage dans la plus part des cas.

Le choix des systèmes et des matériaux de construction est selon la facilité de la mise en œuvre, la plasticité, la résistance mécanique...etc. Mais l'inconvénient majeur de ces systèmes est la faible résistance thermique. L'oubli de la contrainte du confort thermique va provoquer une surconsommation énergétique afin d'améliorer les ambiances intérieurs. (Benoudjafer, I. et al. 2012).

IV. 2. 4. Les problèmes énergétiques liés à la production des logements

A partir de ce qui est déjà dit, l'état actuelle du cadre bâti en Algérie est caractérisé par :

Chapitre quatre : l'expérience algérienne dans le domaine de haute performance énergétique.

L'absence totale du contrôle dans le domaine énergétique. (Chabane, L. 2010).

Le manque des mains d'œuvres qualifiés dans le domaine du bâtiment.

Le souci d'aller trop vite par rapport au besoin de la qualité.

L'absence de la valorisation des matériaux de construction locaux même lorsqu'il s'agit de restauration. (Chabane, L. 2010).

Pas d'application de la réglementation thermique. (Chabane, L. 2010).

Le manque d'intérêt des acteurs du domaine du bâtiment de l'importance de la maîtrise d'énergie dans les constructions par le choix des matériaux qualifiés, l'isolation, les menuiseries étanche...etc. (Chabane L. 2010).

IV. 3. La haute performance énergétique :

Il s'agit de comprendre la qualité de haute performance énergétique dans le monde pour la comparer avec l'expérience algérienne dans ce domaine.

IV. 3. 1. Définition :

La haute performance énergétique est une notion récente apparue déjà dans la réglementation française et qui désigne la diminution de la consommation énergétique par une conception architecturale adéquate en améliorant le confort thermique.

Il s'agit d'un ensemble des normes et des prescriptions réglementaires qui s'est progressivement établi à partir de 1978 entre divers acteurs du bâtiment, de l'environnement et des services publics de l'énergie. Elle représente une démarche qualitative qui intègre la conception, la construction, le fonctionnement et l'entretien d'un bâtiment (logement, bâtiment public, tertiaire ou industriel). (fr.wikipedia.org).

La performance énergétique est définie selon le « coût global », le bilan énergétique et les cycles d'entretien et de renouvellement. (fr.wikipedia.org).

Selon PREBAT, la définition d'un bâtiment efficace énergétiquement est un concept d'ensemble saisissant dans un même processus l'architecture, le climat, l'enveloppe et les équipements. (PREBAT, ADEME et CSTB 2007 cité par Mazari, M. 2012).

IV. 3. 2. Les principaux réglementations et labels :

IV. 3. 2. 1. La réglementation française :

➤ La réglementation thermique 2005 (RT 2005) :

Il s'agit d'une réglementation qui renforce les exigences de performance énergétique des constructions neuf par rapport la RT 2000 par 15%.

Les objectifs de la RT 2005 sont : (MAESP 2010 cité dans Semahi, S. 2013).

Donner plus d'importance à la construction bioclimatique pour améliorer le confort d'hiver et d'été sans recours aux énergies fossiles.

L'amélioration des enveloppes thermiques par un renforcement d'isolation sur les parois opaques et celles vitrées.

Encourager le recours aux énergies renouvelables par rapport à celles fossiles.

Minimiser le recours à la climatisation mécanique pour la remplacer par des procédés passifs.

Économiser l'énergie utilisée pour l'éclairage artificielle.

➤ La réglementation thermique 2012 (RT 2012) :

Cette réglementation concerne les bâtiments de type tertiaire et résidentiel en intervenant sur les postes de la climatisation, le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire, l'éclairage et différents équipements auxiliaires telles que la ventilation ou les pompes. (www.toutfaire.com 2012).

L'objectif majeur est de limiter encore les consommations énergétiques par rapport la RT 2005. La RT 2012 précise sur l'utilisation des énergies renouvelables, le traitement des ponts thermiques et de la perméabilité à l'air pour réussir à atteindre le niveau des 50 kwh/m²/an. (www.toutfaire.com 2012).

IV. 3. 2. 2. Le label français de haute performance énergétique (HPE):

Ce label est défini par l'arrêté du 3 mai 2007. Son objectif est de compléter la RT 2005 avec plus d'exigence. Il est en relation direct avec le HQE⁶ Il contient cinq niveaux selon la performance énergétique. (Le Grenelle environnement, 2012).

➤ **HPE 2005 :**

C'est la haute performance énergétique. Sa consommation énergétique est inférieure de 10% par rapport la consommation de référence définit par la RT 2005. (Le Grenelle environnement, 2012).

➤ **THPE 2005 :**

Elle signifie la très haute performance énergétique. Sa consommation énergétique est inférieure de 20% par rapport la consommation de référence définit par la RT 2005. (Le Grenelle environnement, 2012).

➤ **HPE enr2005 :**

Elle signifie la haute performance énergétique avec énergie renouvelable. Sa consommation énergétique est inférieure de 10% par rapport la consommation de référence définit par la RT 2005. Avec l'exigence que 50% de l'énergie destiné au chauffage soit d'un des énergies renouvelables, le photovoltaïque, l'éolienne, la biomasse...etc. (Le Grenelle environnement, 2012).

➤ **THPE enr 2005 :**

Elle signifie la très haute performance énergétique avec l'intégration de l'énergie renouvelable. Sa consommation énergétique est inférieur de 30% par rapport la consommation de référence définit par la RT 2005 avec l'installation des équipements fonctionnant aux énergies renouvelables (capteurs solaires thermiques, capteurs photovoltaïques, éoliennes ou pompes a chaleur très performantes). (www.toutfaire.com 2012).

➤ **BBC 2005 :**

Il s'agit d'un bâtiment à basse consommation. Ce label est attribué par Effinergie à des bâtiments ou la consommation énergétique primaire est de 80% moins que la RT 2005. Ces bâtiments BBC sont caractérisés par des matériaux de construction et des équipements économes en énergie. La

⁶ HQE : Haute Qualité Environnemental.

Chapitre quatre : l'expérience algérienne dans le domaine de haute performance énergétique.

consommation d'un bâtiment BBC neuf y compris le chauffage, le refroidissement, la ventilation, les auxiliaires, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage est de 50kw/m²/an. (Le Grenelle environnement 2012, www.Toutfaire.com , 2012).

3. 3. Classification des bâtiments à efficacité énergétique :

Une conception architecturale particulière est nécessaire pour influencer le comportement énergétique d'un bâtiment. La forme du bâtiment, son orientation et la nature de son enveloppe ont une influence directe sur son performance énergétique. (M. Mazari 2012).

Plusieurs types des bâtiments performants sont disponible tout dépend de leur efficacité énergétique.

➤ Bâtiment performant :

Il est nommé aussi un bâtiment à basse consommation d'énergie (BBC) lorsque la consommation d'énergie primaire ne dépasse pas les 50 Kwh/m²/an pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire, la ventilation, l'éclairage et le refroidissement. (Semahi, S. 2013).

Selon l'association Effinergie, ce type des bâtiments est obtenu par l'amélioration de l'isolation, la réduction des ponts thermiques et l'augmentation des apports passifs. (Thiers, S. 2008).

➤ Bâtiment très performant :

Il s'agit d'un bâtiment passif avec très faible consommation énergétique sans chauffage ou refroidissement par des systèmes actifs. Ce concept du bâtiment passif était développé par le Pr Adamson de l'université de Lund (Suède) et le Dr Wolfgang Feist de l'institut du logement et de l'environnement IWU de Darmstadt (Allemagne). (Tringali, L. 2010).

Pour ce type des bâtiments, les apports solaires passifs et ceux internes avec une ventilation adéquate permet d'avoir un climat intérieur confortable en été comme en hiver. (Laustens, J. 2008 cité par Semahi, S. 2013).

Afin de réaliser ce type des bâtiments, il s'agit de suivre les principes suivants :(PMP 2012 cité par Semahi, S. 2013).

L'utilisation passive des rayonnements solaires pour chauffer en hiver.

Chapitre quatre : l'expérience algérienne dans le domaine de haute performance énergétique.

La sur-isolation par une isolation thermique très performante en bien gérant les ponts thermiques avec une amélioration de l'étanchéité de l'air.

La récupération de la chaleur perdue lors de la ventilation par un système de ventilation double flux et le chauffage d'appoint. (Mazari, M. 2012).

L'efficacité électrique et l'utilisation de l'énergie solaire.

Ce type des bâtiments doit diminuer la consommation énergétique par 80% pour le chauffage par rapport aux constructions existantes. (Semahi, 2013).

➤ Bâtiment zéro énergie :

Ce type des bâtiments produit l'énergie pour sa consommation. Il est autonome en énergie sur l'année par un des sources renouvelable avec une sur-isolation. Son bilan énergétique net annuel est nul. (Bernier, 2006 cité par Thiers, S. 2008).

➤ Bâtiment à énergie positive :

Sa consommation énergétique est inférieure à sa production. La surproduction va être distribuée dans le réseau de distribution pour le revendre (Thiers, S. 2008).

Ce type des bâtiments est très utile dans les sites isolés ou le coût de raccordement au réseau public est trop cher.



Figure 91: Bureaux à énergie positive, ZAC de bonne, Grenoble.
Source: Ademe et Grenelle environnement 2009.

IV. 4. La politique énergétique dans le secteur résidentiel en Algérie :

En 1986, l'Algérie en tant que pays exportateur du pétrole et de gaz naturel était influencée par le contrechoc pétrolier. Les prix du pétrole ont baissé et provoquait une forte crise économique. (Mazari, M. 2012).

Pour affronter ce type des situations, l'État algérien prend conscience de l'importance d'une politique d'efficacité énergétique par la mise en route d'un certain nombre des lois règlementaires.

IV. 4. 1. Les lois règlementaires :

Les lois relatives à la maîtrise d'énergie sont :

IV. 4. 1. 1. La loi 09 - 99 du 28 juillet 1999 :

Elle est considérée comme une loi cadre relative à la maîtrise d'énergie, son rôle est d'assurer un des objectifs fondamentaux de la politique énergétique en Algérie. Par la gestion rationnelle de la demande d'énergie et fixe des nombreux aspects liés à la maîtrise d'énergie dans le domaine de la construction. (MEM, APRUE, 2010).

IV. 4. 1. 2. Le décret exécutif n° 2000-90 du 24 Avril 2000 :

Il porte la réglementation thermique dans les bâtiments neufs à usage d'habitation. (JORA, 2000).

IV. 4. 1. 3. La loi 04 – 09 du 14 Août 2004 :

Elle est relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable. (JORA, 2004).

IV. 4. 1. 4. Le décret exécutif 04- 149 du 19 Mai 2004 :

Il fixe les modalités d'élaboration du programme national de la maîtrise d'énergie. (JORA, 2004).

IV. 4. 1. 5. Décret exécutif n° 05-16 du 11 janvier 2005 :

Il fixe les règles spécifiques d'efficacité énergétique applicables aux appareils fonctionnant à l'électricité, au gaz et aux produits pétroliers.

IV. 4. 1. 6. Arrêté interministériel du 29 Novembre 2008 :

Il définit la classification d'efficacité énergétique des appareils à usage domestique soumis aux règles spécifiques d'efficacité énergétique pour ceux qui fonctionnent à l'énergie électrique. (JORA, 2009).

A partir de cette réglementation, le CNERIB⁷ a enrichi ce domaine par des documents techniques règlementaires. Ces DTR⁸ sont initiés par le ministère de l'habitat et mis en œuvre par le CNERIB.

Ils sont destinés aux bâtiments à usage d'habitation, spécifiquement à la nature d'enveloppe des constructions.

⁷ CNERIB : Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment.

⁸ DTR : Documents Techniques Règlementaires.

IV. 4. 1. 7. Le DTR. C 3 - 2 :

Il s'agit des règles du calcul des déperditions calorifiques pour les bâtiments à usage d'habitation. Le but de ce DTR est de limiter la consommation énergétique pour le chauffage d'hiver par le calcul des déperditions thermiques.

IV. 4. 1. 8. Le DTR. C 3 – 4 :

Il s'agit d'un document qui prend en charge le calcul des apports calorifiques d'été pour les bâtiments à usages d'habitation. Il consiste à limiter l'utilisation de la climatisation pour rafraîchir en période d'été afin d'économiser la consommation énergétique.

IV. 4. 1. 9. Le DTR. C 3. 34 :

Il s'agit d'un document qui prend en charge la ventilation des locaux à usage d'habitation en donnant les principes généraux qu'il faut prendre en considération pour la conception des installations de la ventilation naturelle.

Tous ces réglementations ont l'objectif d'introduire la performance énergétique pour les constructions neuves ou lors de réhabilitation en minimisant les besoins calorifiques par 40% selon l'APRUE. (Maouj, Y. sans date).

Mais l'application de ces réglementations reste non obligatoire, la preuve est l'absence de toute efficacité énergétique dans les constructions sur le territoire Algérien.

IV. 4. 2. Les instruments de l'efficacité énergétique en Algérie :

IV. 4. 2. 1. L'Agence nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE) :

Il s'agit d'un établissement public à caractère industriel et commercial. Il a été créé par un décret présidentiel en 1985, sous la tutelle du ministère de l'énergie et des mines. Son objectif principal est la mise en œuvre de la politique nationale de la maîtrise de l'énergie. (www.aprue.org.dz)

Par la loi n° 99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie, les rôles de l'agence sont : (www.aprue.org.dz)

L'organisation et l'application de la politique nationale de la maîtrise de l'énergie.

La mise en œuvre et le suivi du PNME⁹.

La sensibilisation par l'importance de l'énergie.

⁹PNME : Programme National de la maîtrise de l'énergie.

Chapitre quatre : l'expérience algérienne dans le domaine de haute performance énergétique.

La programmation des projets sectoriels dans le domaine de la maîtrise de l'énergie en collaboration avec les secteurs concernés.

IV. 4. 2. 2. Fond National pour la Maîtrise de l'Energie (FNME) :

La création du FNME est par le décret exécutif n° 2000-116 du 29 mai 2000 fixant les modalités du fonctionnement du compte d'affectation spéciale N° 302-101 intitulé « Fonds national pour la maîtrise de l'énergie ». (JORA, 2000).

Son rôle principal est Le financement des actions inscrites au Programme National d'efficacité énergétique. (Boucheneb, Dj. 2013).

Le FNME est alimenté par : (JORA, 2000).

Les conventions de l'état ;

Le produit de la taxe sur la consommation nationale d'énergie ;

Le produit de la taxe sur les appareils énergivores ;

Le produit des amendes prévues dans le cadre de la loi relative à la maîtrise de l'énergie ;

Le produit des remboursements de prêts non rémunérés consentis dans le cadre de la maîtrise de l'énergie ;

Toutes autres ressources ou contributions ;

Selon la même loi, les dépenses du FNME sont : (JORA, 2000).

Le financement des actions et projets inscrits dans le programme pour la maîtrise de l'énergie ;

L'octroi des prêts non rémunérés consentis aux investissements porteurs d'efficacité énergétique et non-inscrits dans le programme pour la maîtrise de l'énergie ;

L'octroi des garanties pour les emprunts effectués auprès des banques ou aux établissements financiers.

IV. 4. 2. 3. Programme national de maîtrise de l'énergie (PNME) :

Le PNME créé par le décret exécutif n°04-149 du 19 mai 2004 représente le cadre de mise en œuvre de la maîtrise de l'énergie au niveau national. (MEM, Aprue 2010).

Chapitre quatre : l'expérience algérienne dans le domaine de haute performance énergétique.

Le PNME comprend : (MEM, Aprue 2010).

Le cadre et les perspectives de la maîtrise de l'énergie ;

L'évaluation des potentiels et la définition des objectifs de la maîtrise de l'énergie ;

Les moyens d'actions existants et à mettre en œuvre pour atteindre les objectifs de long terme ;

Un programme d'actions quinquennal ;

IV. 4. 2. 4. Comité intersectoriel de maîtrise de l'énergie (CME):

Afin d'assurer l'animation et la coordination de la politique de maîtrise de l'énergie, l'Algérie a décidé la création, en 2005, le Comité intersectoriel de la maîtrise de l'énergie (CIME), il s'agit d'un organe consultatif placé auprès du ministère chargé de l'énergie. (JORA, 2004).

Ce Comité a le rôle d'organiser la concertation et le développement des partenariats public/privé. Les membres de ce comité sont des représentants des ministères, des entreprises, des chercheurs, de la société civile et du directeur de l'APRUE. (JORA, 2004).

Le comité donne ses avis sur l'évolution de la politique de maîtrise de l'énergie et des moyens qui lui sont consacrés et sur les travaux d'élaboration avec la mise en œuvre et de suivi du programme national pour la maîtrise de l'énergie. (JORA, 2004).

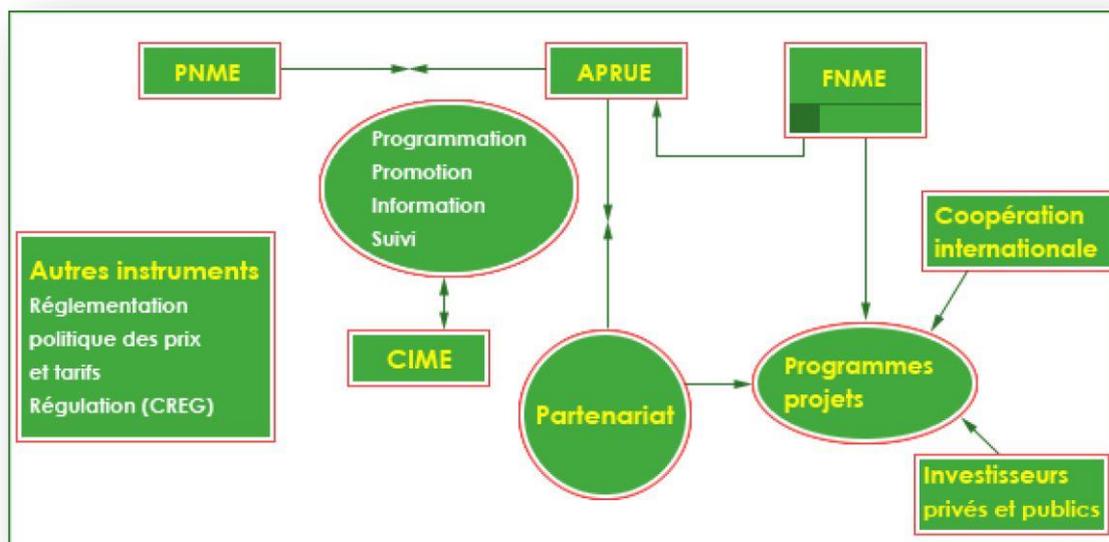


Figure 92: la relation entre différents instruments de la maîtrise d'énergie

Source : APRUE 2011 cité par Bouamama, W. 2013

IV. 4. 3. Les programmes nationaux pour la maîtrise d'énergie :

Lors de la stratégie nationale de la maîtrise d'énergie, l'Aprue a lancé en 2009 cinq programmes de maîtrise et d'économiser l'énergie : (Aprue, 2009).

IV. 4. 3. 1. Programme Eco-Lumière :

Il s'agit d'un programme qui a pour objectif d'assurer un éclairage performant par l'utilisation des lampes à basse consommation. Par la diffusion d'un million des lampes économiques dans les ménages sur le territoire national.

IV. 4. 3. 2. Programme Prop-Air :

Il s'agit d'apporter un appui au développement du GPL Carburant pour diminuer l'impact de la pollution des transports dans les zones urbaines.

IV. 4. 3. 3. Programme Top-industrie :

Il s'agit d'apporter une amélioration de la compétitivité avec une diminution des coûts de production en proposant une stratégie de maîtrise d'énergie.

IV. 4. 3. 4. Programme Alsol :

Il s'agit de distribuer 1000 chauffe-eau solaire dans le secteur des ménages et 1000 autres dans le secteur du tertiaire. Il vise de mettre en place les conditions d'un marché durable du solaire thermique en Algérie. Ce programme consiste à trouver une collaboration entre l'APRUE et l'FNME¹⁰.

Ces programmes consistent à créer des économies de la consommation énergétique et minimiser l'émission du gaz à effet de serre.

IV. 4. 3. 5. Programme Eco-Bât :

Ce programme a été lancé par l'APRUE et 11 OPGI¹¹ afin de réaliser 600 logements de haute performance énergétique à travers le territoire national. Il consiste d'optimiser le confort thermique dans ces logements tous en minimisant la consommation énergétique liée au chauffage et de climatisation par environ 40%. La localisation de ces logements est selon les zones climatiques dans 11 wilayas. (Y. Maoudj, sans date, www.aprue.org.dz consulté le 25.02.2015).

¹⁰ FNME : Fond National pour la Maîtrise de l'Energie.

¹¹ OPGI : Office de Promotion et de Gestion Immobilière.

Chapitre quatre : l'expérience algérienne dans le domaine de haute performance énergétique.

Il s'agit d'apporter un soutien technique aux maîtres d'ouvrage d'un côté et un aide financier par le Fonds National pour la maîtrise d'énergie par 80% des surcoûts liés aux travaux d'installation des équipements de haute performance énergétique. (FNME).

L'objectif de cette opération est de sensibiliser les acteurs du secteur du bâtiment par l'importance de la problématique d'efficacité énergétique.

Zone climatique	Région	Logement HPE
Zone littorale	Alger	50
	Skikda	50
	Blida	80
	Mostaganem	82
	Oran	80
Zone haut plateaux	Sétif	54
Zone nord-sud	Laghouat	32
Zone grand sud	Djelfa	80
	Béchar	30
	Eloued	36
	Tamanrasset	30

Tableau 5: la réalisation du programme LOGEMENTS HPE.

Source : (www.aprue.org.dz consulté le 25.02.2015).

IV. 4. 3. 6. Isolation thermique de 1500 constructions existantes :

Il s'agit de réhabiliter énergétiquement les constructions de type :

Les bâtiments à usage d'habitation.

Les bâtiments secteur tertiaire comme les hôtels, les établissements scolaires et les établissements sanitaires...etc.

Chapitre quatre : l'expérience algérienne dans le domaine de haute performance énergétique.

L'objectif de ce programme est de réhabiliter 1500 constructions entre 2011 et 2013 afin de minimiser la consommation énergétique annuelle des logements entre 20% et 40%.

L'FNME prend en charge les coûts de ce projet pour encourager les propriétaires à des actions pareilles. (www.aprue.org.dz consulté le 25.02.2015).

La réhabilitation est partielle en abordant : (www.aprue.org.dz consulté le 25.02.2015).

- ✓ Les ouvrants extérieurs : par le remplacement des simples vitrages par le double vitrage.
- ✓ La toiture : par l'ajout des isolants thermique afin de minimiser les déperditions calorifiques vers le haut.

IV. 5. Des projets d'efficacité énergétique en Algérie :

IV. 5. 1. Projet MED-ENEC¹² :

Il s'agit d'un projet régional financé par l'union européenne afin de généraliser les techniques de construction qui prennent en compte les données climatiques, les mesures d'efficacité énergétique et l'utilisation des énergies renouvelables et dans le secteur du bâtiment pour les pays méditerranéens surtout au sud et à l'est. (La délégation de l'UE, 2014).

L'objectif de ce projet est de garantir le transfert des compétences et des capacités par des projets pilotes de formation qui présentent les meilleures pratiques. La prévention des actions d'accompagnement des grands bâtiments dans le cadre de ce programme. (La délégation de l'UE 2014).

Le Med-Enec a lancé un concours pour proposer des projets pilotes sur l'efficacité énergétique dans le domaine du bâtiment. Ces projets pilotes vont être des outils de transfert des technologies et de savoir faire. (Chenak, A. 2009).

Le consortium formé par le CDER et le CNERIB selon A. Chenak a été retenu pour la réalisation de cet habitat du type rural à haute efficacité énergétique à l'intérieur de l'enceinte du CNERIB à Souidania. (Chenak, A. 2009).

¹² MED-ENEC: Energy Efficiency in the Construction Sector of the Mediterranean.

IV.5. 2. Le prototype :

La maison prototype est du type F3 avec une surface de 80m². Son implantation est dans le village de Souidania à la région d'Alger. Elle est dans la zone climatique (A), son Altitude est 36,70 N et le Longitude 3,20 E. Son climat est caractérisé par un hiver frais et un été chaud et humide. (Derradji, L. et al 2011).



Figure 93: vue du prototype. Source www.aprue.org.dz

Cette maison contient deux chambres, la première est orientée vers le sud-ouest et l'autre vers le nord-ouest. Le séjour est ouvert vers le sud par une grande fenêtre avec une porte-fenêtre du côté est pour augmenter l'éclairage naturel. La cuisine est disposée vers l'est. La salle de bain et la toilette sont au nord. (Derradji, L. et al 2012).

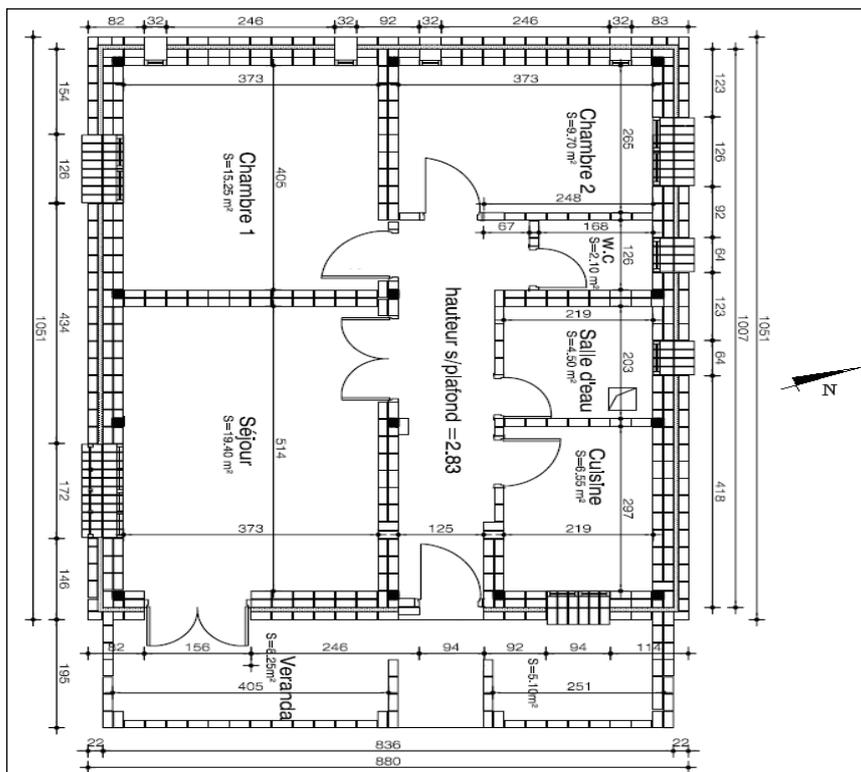


Figure 94: plan du prototype. Source L. Derradji et al 2012

Chapitre quatre : l'expérience algérienne dans le domaine de haute performance énergétique.

Ce prototype est classé comme une maison solaire passive par son orientation vers le sud et la grande inertie thermique de son enveloppe avec les caractéristiques du solaire actif par l'installation des panneaux photovoltaïques et le plancher solaire chauffant. (Derradji, L. et al 2011).

IV.5. 2. 1. Les caractéristiques énergétiques de la maison :

L'objectif majeur pour la réalisation de ce prototype est d'économiser la consommation énergétique au maximum en offrant le confort nécessaire aux occupants par : (CNERIB, 2014)

Réduire des pertes de chaleur vers l'extérieur.

Augmenter des apports gratuits d'énergie solaires et des apports internes.

Minimiser au maximum l'utilisation du chauffage d'appoint.

Économiser l'énergie liée à l'éclairage artificiel.

Pour assurer les principes cités au-dessus, la conception du prototype a pris en considération les solutions suivantes : (Chenak, 2009).

L'utilisation du BTS¹³, construit à partir d'un matériau local qui est le béton de terre stabilisée.

L'augmentation de l'inertie de l'enveloppe thermique par 15cm du plancher bas en béton lourd et 20cm du plancher haut avec le même matériau.

L'utilisation d'une isolation thermique verticale et horizontale.

Le choix d'une orientation adéquate des ouvertures afin de profiter des rayons solaires d'hiver et de s'en protéger en été.

L'utilisation du double vitrage.

Le remplacement des lampes ordinaires par des lampes à basse consommation d'énergie en favorisant l'éclairage naturel.

Le traitement des ponts thermiques qui représente 20% des déperditions. (Semmar, D. et al 2013).

L'intégration au climat de cette maison est par : (CNERIB 2014).

L'utilisation d'une ventilation naturelle.

Profiter des rayons solaires d'une manière passive et active.

La protection de la façade ouest contre les vents froids hivernaux et les surchauffes d'été par une végétation naturelle. (Semmar, D. et al 2013).

¹³ BTS : Béton de Terre Stabiliser, caractérisé par une consommation énergétique minimale, résistance sismique, et la disponibilité locale de la matière première.

IV.5. 2. 2. Les caractéristiques constructives de la maison :

Comme l'enveloppe est la première défense contre les atténuations thermiques du climat extérieur, les concepteurs du prototype ont donné plus d'importance à ce dernier en appliquant les réglementations DTR C3-2, Réglementation thermique des bâtiments d'habitation – Règle de calcul des déperditions calorifiques et le DTR C3-4, Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments – Climatisation. (CNERIB, 2014).

L'application de la réglementation est par : (CNERIB, 2014).

La résistance thermique des parois :

La résistance thermique des parois est indiquée dans le tableau suivant :

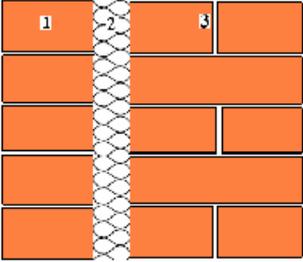
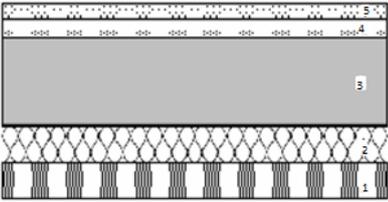
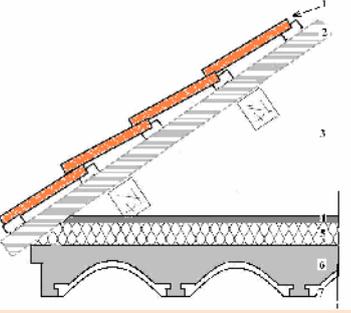
	Composition	Epaisseur (m)	R = e/λ (m ² k/W)	Rg (m ² k/W)	U (W/m ² .K)
<p>Mur Extérieur</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. BTS 2. Polystyrène 3. BTS 	<p>0,14</p> <p>0,09</p> <p>0,29</p>	<p>0,11</p> <p>2,25</p> <p>0,22</p>	2,58	3,22
<p>Plancher Bas</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Béton lourd 2. Polystyrène expansé 3. Béton lourd 4. Mortier + sable 5. Carrelage 	<p>0,05</p> <p>0,06</p> <p>0,15</p> <p>0,03</p> <p>0,02</p>	<p>0,03</p> <p>1,50</p> <p>0,09</p> <p>0,03</p> <p>0,01</p>	1,65	1,16
<p>Plancher Haut</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tuile en terre cuite 2. Chevrons 3. Comble 4. Couche de mortier 5. Polystyrène expansé 6. Béton lourd 7. Voûtain en plâtre 	<p>0,03</p> <p>0,16</p> <p>0,08</p> <p>0,04</p>	<p>0,02</p> <p>4,00</p> <p>0,05</p> <p>0,11</p>	4,18	2,94

Tableau 6: La résistance thermique des matériaux composant les parois.

Chapitre quatre : l'expérience algérienne dans le domaine de haute performance énergétique.

Source L. Derradji et al 2012.

Le chauffage solaire passif :

Pour chauffer cette maison passivement, le concepteur a pris en compte deux facteurs essentiels pour la conception passive. La première est la grande inertie thermique par des parois horizontales et verticales lourdes en BTS.

L'autre facteur est l'orientation adéquate par l'ouverture vers le sud pour en profiter du soleil d'hiver.

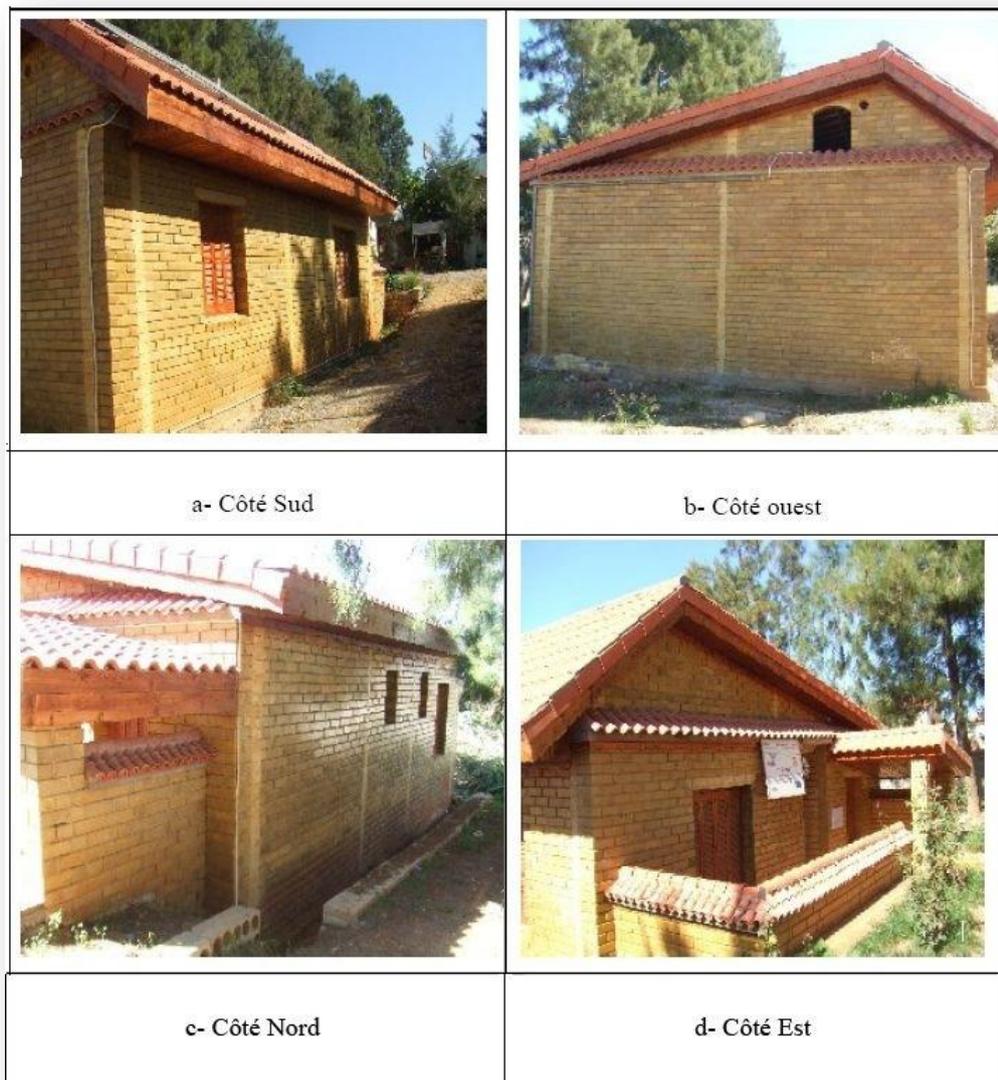


Figure 95 : les façades du prototype.

Source CNERIB 2014.

Le chauffage actif :

Ce chauffage est assuré par un plancher solaire direct qui est alimenté par l'énergie solaire placée sur le toit de la construction et orienté vers le sud. L'énergie solaire est transportée par un fluide caloporteur antigel à travers un serpentin pour chauffer la maison et permet la production d'eau chaude sanitaire durant toute l'année. (CNERIB, 2014).



Figure 97 : Les capteurs solaires dans le prototype.

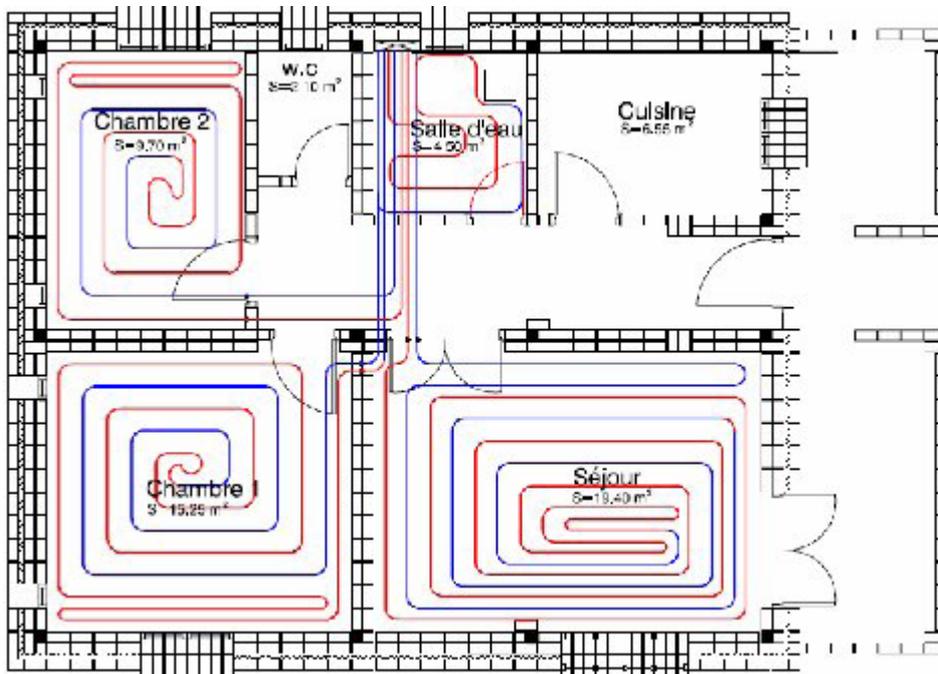


Figure 96: le serpentin du plancher solaire direct.
Source CNERIB 2014

Pour conclure la description de la maison rurale à faible consommation énergétique, les études et les expérimentations exercées sur le prototype montrent une réduction de la consommation énergétique pour le chauffage d'hiver jusqu'à 78% par rapport à une maison classique. (Derradji, L. et al 2012).

Chapitre quatre : l'expérience algérienne dans le domaine de haute performance énergétique.

En période d'été, cette économie en consommation peut atteindre 61 % en adoptant des mesures d'efficacité énergétique pour la climatisation. (Derradji, L. et al 2012).

Le surcout lié aux techniques d'efficacité énergétique pour la réalisation du ce prototype est de l'ordre de 12% et son rentabilité est en 11 ans. (Maoudj, Y. sans date).

Conclusion :

Le présent travail a permis de faire ressortir les synthèses suivantes :

Par le biais de la réglementation, il existe une volonté politique pour améliorer la situation énergétique du cadre bâti en Algérie mais l'existant ne reflète pas cette volonté avec un secteur très énergivore. Les acteurs du bâtiment sont loin des considérations thermiques lors du processus de réalisation d'un bâtiment tertiaire ou résidentiel.

La mise en œuvre des instruments de la maîtrise d'énergie n'a pas donné de plus suite à l'absence des outils du contrôle et l'inconscience des acteurs du domaine du bâtiment.

Les projets lancés dans ce domaine sont considérés comme un début pour réduire la facture énergétique, minimiser les émissions des gaz à effet de serre (GES) et protéger les sources naturelles tout en assurant le confort thermique à l'intérieur du bâtiment. La réduction en consommation énergétique peut dépasser 50% selon Y. Maoudj, un responsable au CNERIB. (Maoudj, Y. sans date.)

L'efficacité des logements HPE avec l'état de réalisation actuel reste l'objectif de la prochaine partie du ce travail par le biais de la simulation thermique.

***Chapitre cinq : présentation du
cas d'étude et la méthodologie
de la recherche.***

Chapitre cinq : présentation du cas d'étude et la méthodologie de la recherche.

Introduction :

En complétant sur le même trajet de recherche et suite à la présentation de l'expérience algérienne dans le domaine de haute performance énergétique, c'est le temps d'aller plus en détail par l'analyse du cas d'étude.

Il s'agit de présenter la région de Blida par une analyse climatique et bioclimatique pour faire sortir les recommandations pour bâtir dans la région étudiée.

Puis, c'est la présentation du projet du cas d'étude (80 logements HPE) par les données graphiques, les caractéristiques constructives et les solutions techniques adoptées par le concepteur afin d'améliorer l'efficacité énergétique du projet.

Enfin, c'est la présentation de la méthodologie de recherche employée dans le but d'évaluer l'expérience algérienne dans le domaine de la Haute Performance Énergétique (HPE) en précisant le choix du logiciel de la simulation et le protocole de cette dernière.

V. 1. Présentation de la ville de Blida.

V. 1. 1. Situation géographique :

La ville de Blida est située dans la partie Nord de l'Algérie, à 35km de sud d'Alger, dans la zone géographique du Tel centrale et au pied du versant nord de l'Atlas blidéen et se prolonge jusqu'à la rive sud de la plaine de la Mitidja. Son altitude est de 267m du niveau de la mer avec une latitude de 36°28 nord et une longitude de 2°50.



Figure 98: Situation de la ville de Blida

Avec une superficie de 1482.8 km², la ville du Blida est limitée au nord par la wilaya de Tipaza et la wilaya d'Alger, à l'ouest par la wilaya d'Ain Defla, au sud par la wilaya du Médéa et à l'est par les wilayas de Boumerdes et Bouira.

Ain Romana

Le site du projet est dans la commune d'Ain Romana qui est à 297 m d'Altitude (la figure).

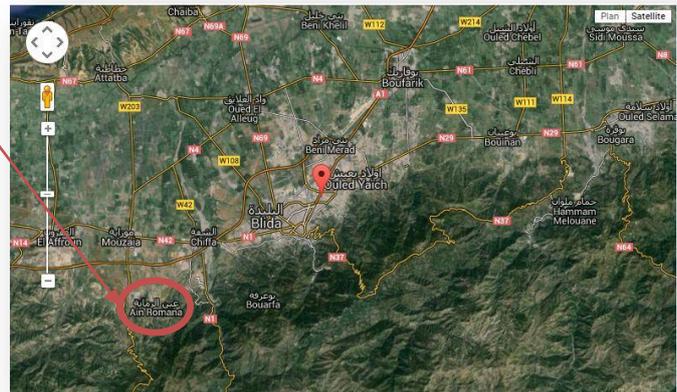


Figure 99: plan de situation

V. 1. 2. L'analyse climatique de la région de Blida :

Selon B. Givoni, le climat est considéré comme étant un ensemble des régimes de variations de plusieurs éléments et par leurs combinaisons. Ces principaux éléments sont les rayonnements solaires, la température d'air, l'humidité relative, le vent et les précipitations. (B. Givoni 1978).

La division des facteurs climatiques est en trois catégories : (Estienne, P. et Godard, A. 1970 cité par Benlatrache, T. 2006).

- ✓ Facteurs énergétiques : rayonnement, lumière, et température
- ✓ Facteurs hydrologiques : précipitations et hygrométrie
- ✓ Facteurs mécaniques : vents et enneigements.

Suite à sa situation, la ville du Blida est caractérisée par un climat tempéré humide de type méditerranéen, (Oueld hania, A. 1993 cité par Benlatrache, T. 2006) influencée par les effets des montagnes entourant la ville et la mer méditerranéen qui n'est loin de cette dernière que par 25km. Elle appartient à la zone climatique de type B (zonage d'hiver) et de type B (zonage d'été) avec un hiver froid et pluvieux et un été chaud et humide. (CNERIB, 1997, CNERIB, 2005).



Figure 101: Zonage d'été. Source CNERIB, 2005.

Figure 100: Zonage d'hiver. Source CNERIB, 1997

V. 1. 2. 1. Les données climatiques de la région de Blida.

Afin de mieux maîtriser la situation climatique, c'est intéressant de consulter les paramètres liés à l'ambiance de l'individu tel que la précipitation, les vents, les températures...etc. Ces données sont mesurées par l'ANRH.¹⁴

Les températures.

La température de l'air est la grandeur physique le plus important pour définir le degré d'échauffement ou du refroidissement de l'air. (CRAU, 1983).

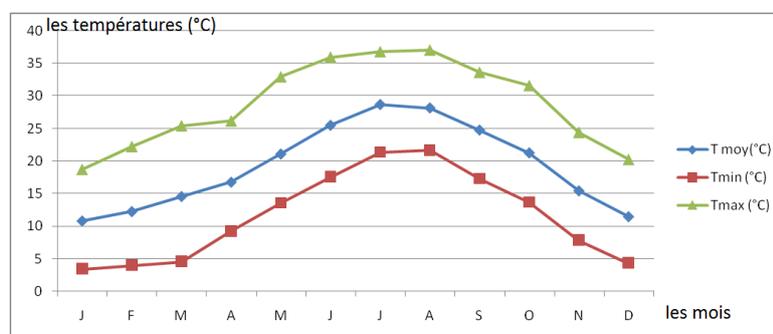


Figure 102: Les valeurs des températures moyennes mensuelles. Pour la période (2000- 2010). Source ANRH, Blida.

Pour la ville de Blida, les températures augmentent d'une manière régulière du mois de Décembre jusqu'au mois de juillet.

Par contre, une diminution rapide du mois d'Août (28.11 °C) à Décembre (11.4 °C) pour les températures mensuelles moyennes.

Un grand écart entre les températures moyennes minimales et maximales durant la même journée dont il dépasse parfois (20°C).

¹⁴ ANRH: l'Agence National des Ressources d'Hydraulique au Soumaa (Blida).

Chapitre cinq : présentation du cas d'étude et la méthodologie de la recherche.

La chute des températures mensuelles minimales de Décembre à Mars rend ces mois les plus froids de l'année.

Les valeurs maximales des températures mensuelles de Juillet à Août rendent ces mois les plus chauds de l'année.

Les mois restant sont caractérisés par des températures mensuelles moyennes plus ou moins confortables qui varient entre 17°C en Avril et 25°C en Juin avec 25°C en Septembre et 16°C en Novembre.

Les précipitations.

Les précipitations sont formées par la condensation de la vapeur d'eau dans les couches hautes de l'atmosphère. Lorsque l'air se refroidit avec l'apparition des nuages composés des gouttelettes d'eau, il se produit les précipitations. (B. Givoni 1978).

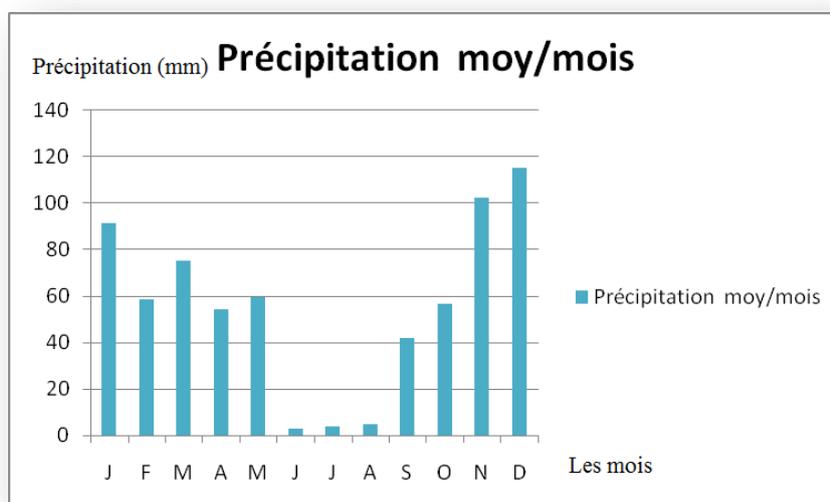


Figure 103: Les précipitations moyennes mensuelles pour (2000- 2010).
Source ANRH Blida.

Les précipitations sont influencées par les mouvements des vents et le changement des régimes des températures comme son rôle est très important pour la classification du climat. (Bellara, S. 2004-2005).

Pour la ville de Blida, les mois pluvieux sont de Septembre jusqu'à Mai par une moyenne qui varie entre 115mm en Décembre et 42mm en Septembre pour la période (2000- 2010).

Les précipitations sont minimales sous forme d'orage durant les trois mois d'été (Juin, Juillet et Août) par une moyenne qui varie entre 3 et 5 mm.

Chapitre cinq : présentation du cas d'étude et la méthodologie de la recherche.

L'humidité.

L'humidité relative représente l'évaluation de la quantité de la vapeur d'eau dans l'air. Elle est exprimée en pourcentage. (Givoni, B. 1978).

Selon le graphe ci contre, l'humidité relative mensuelle

moyenne est maximale durant les mois les plus humides de Septembre à Mai ou elle est d'environ 80% pour la période (2000- 2010). Elle descend de Juin à Août par des valeurs qui dépassent les 24% pour les valeurs minimales de l'humidité relative.

L'humidité moyenne mensuelle maximale est presque stable durant toute l'année par une valeur qui va de 77% à 83%.

Bien que l'humidité minimale connaît certain fluctuation entre les mois pluvieux et ceux sèche d'été. Mais sa valeur ne descend pas du 24%.

Le vent.

Le vent est considéré comme un paramètre instable. Il s'agit d'un déplacement des masses d'air entre les zones de haute pression et celles de basse pression. Il est caractérisé par sa direction, sa vitesse et sa fréquence. (Givoni, B. 1978).

Les vents dominants de la ville de Blida sont de direction de Nord et Nord- ouest en printemps et des vents Ouest et Sud- ouest en été qui est le sirocco.

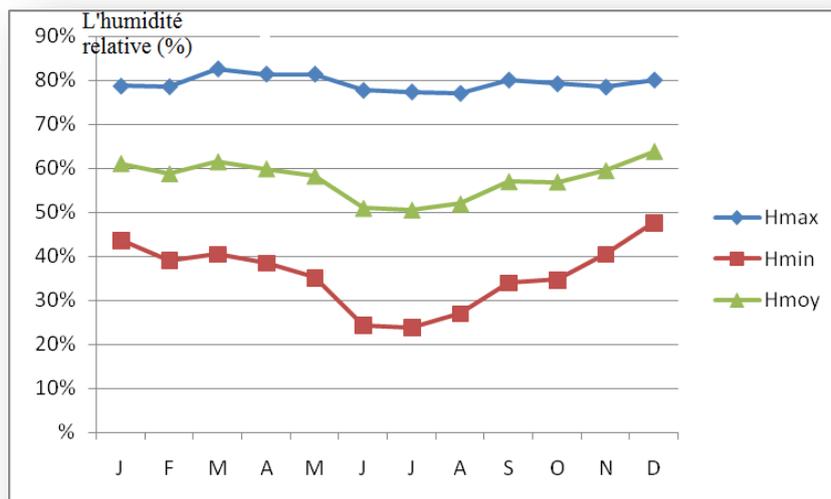


Figure 104: Les valeurs d'humidité relative pour la période (2000- 2010). Source ANRH Blida.

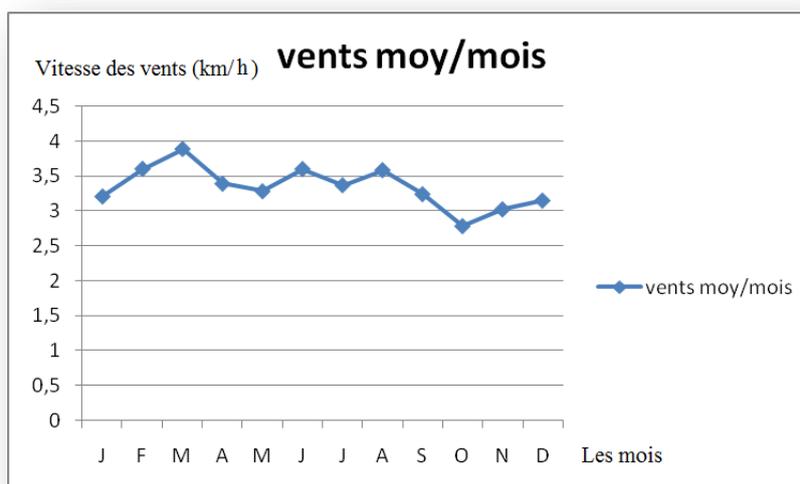


Figure 105: Les vitesses des vents moyens mensuels pour la période de 2000- 2010. Source ANRH Blida.

Chapitre cinq : présentation du cas d'étude et la méthodologie de la recherche.

Le graphe de la vitesse du vent montre que la plus grande vitesse est durant les mois de Mars et Avril (le printemps) par 3.5 à 4 km/ h et atteint la valeur de 2.8 km/h en mois d'Octobre comme une valeur minimale.

La moyenne annuelle de la vitesse des vents est de 0.92 m/s. Donc, il s'agit des vents faibles.

V. 1. 2. 2. Synthèse de l'analyse climatique.

L'analyse du climat permet de faire sortir ses caractéristiques spécifiques pour permettre au concepteur d'arriver à une variété des solutions pour intégrer sa bâtisse dans l'environnement immédiat.

Suite à la lecture des données climatique, il se révèle que :

Il s'agit d'un climat tempéré caractérisé par un hiver froid et humide et un été chaud et humide.

La grande quantité de la précipitation durant la grande majorité de l'année adoucit le climat en hiver comme en été.

Un grand écart entre la température maximale et minimale journalière durant toute l'année.

Un climat trop humide suites à la précipitation et la proximité de la mer.

La saison hiver et celle d'été sont séparé par des saisons modérées en printemps et en automne.

	Jan.	Fév.	Mar s	Avri l	Mai	Juin	Juille t	Août	Sept .	Oct.	Nov.	Déc.
T_{moy} (°C)	10,8 3	12,2 7	14,5 8	16,7 6	21,0 6	25,4 5	28,63	28,1 1	24,7 2	21,2 4	15,44	11,4 9
T_{min} (°C)	3.43	4	4,57	9,25	13,5 8	17,5 8	21,41	21,7	17,3 3	13,7 1	7,85	4,35
T_{max} (°C)	18.7 5	22,2 5	25,4 3	26,1 6	32,9 1	35,9 1	36,75	37	33,5 8	31,5 7	24,42	20,2 8
H_{max} (%)	79	79	83	81	81	78	77	77	80	79	78	80

Chapitre cinq : présentation du cas d'étude et la méthodologie de la recherche.

H_{min} (%)	44	39	41	39	35	24	24	27	34	35	41	48
Vents (km/h)	3,20	3,60	3,88	3,39	3,28	3,60	3,36	3,58	3,24	2,78	3,02	3,14
Précip. (mm)	91,3 6	58,6 4	75,4 5	54,1 3	59,3 8	2,95	3,63	4,82	41,9 8	56,8 8	102,3 5	115, 3

Tableau 7: les données climatiques de la ville de Blida. Source ANRH Blida

V. 1. 3. Analyse bioclimatique de la ville de Blida.

Il s'agit d'utiliser les données climatiques de la ville du Blida afin de les traiter par une analyse bioclimatique en appuyant sur la méthode graphique du S. V. Szokolay et celle des tables du Mahoney. L'objectif de cette analyse est de faire sortir les recommandations architecturales en facilitant l'intégration du bâtiment dans son climat environnant.

V. 1. 3. 1. Application de la méthode de Szokolay:

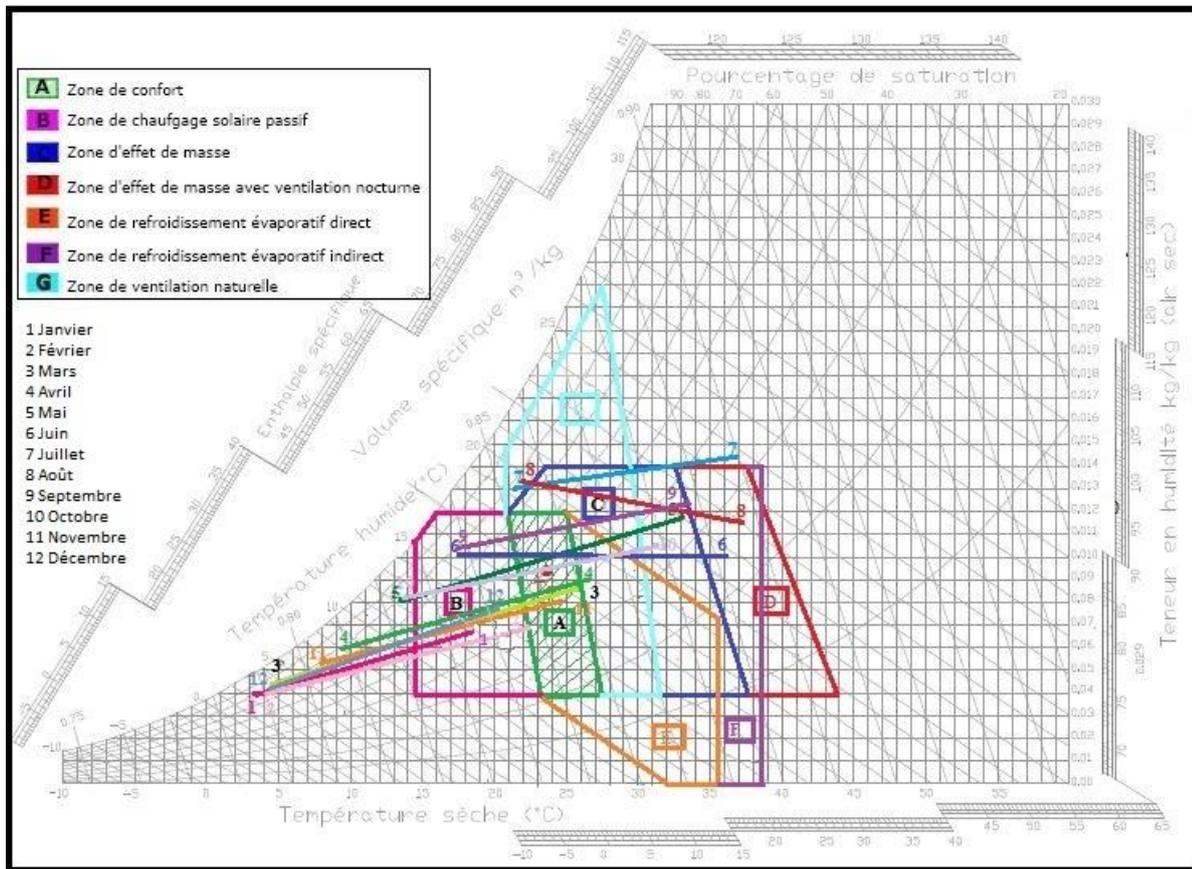


Figure 106: application de la méthode de Szokolay sur le cas d'étude. Source auteur

La méthode utilisée pour dessiner le diagramme psychrométrique du S. V. Szokolay est issue du travail du K. Benhalilou 2008.

Il faut calculer :

$$Tm = \frac{\sum tm}{12}$$

$$Tm = 19.21^{\circ}C$$

La température neutre est:

$$Tn = 17.6 + (0.31 * Tm). \text{ Donc } Tn = 23.55^{\circ}C$$

Sur le graphe, le point neutre est l'intersection entre Tn et la ligne qui représente 50% d'humidité relative.

a) La zone du confort :

Chapitre cinq : présentation du cas d'étude et la méthodologie de la recherche.

Les points 1 et 2 ont une humidité absolue de 12 g/kg.

$T1 = Tn + (Ahn - 12) * 0.025 * (Tn - 14)$. Avec Ahn représente l'humidité absolue du point neutre.

$$T1 = 20.96^{\circ}\text{C}$$

$$T2 = T1 + 4. \text{ Donc } T2 = 24.96^{\circ}\text{C}.$$

$$T3 = T1 + 0.2 * (T1 - 14). \text{ Donc } T3 = 23.35^{\circ}\text{C}.$$

$$T4 = T2 + 0.2 * (T2 - 14). \text{ Donc } T4 = 27.15^{\circ}\text{C}.$$

Les points 3 et 4 ont une humidité absolue de 4g/kg.

La zone du confort est la liaison entre les quatre points 1, 2, 3 et 4.

b) La zone du chauffage solaire passif :

$$T5 = Tn + 0.36 - 0.0025 * Hv \text{ avec } Hv = 3732 \text{ wh/m}^2.$$

$$T5 = 14.58^{\circ}\text{C}.$$

Ou Hv correspond au moyenne journalière totale d'irradiations solaires en wh/m² d'une surface verticale sud pour le mois le plus chaud.

Le point 5 correspond à l'humidité relative de la saturation (100%).

c) La zone de contrôle potentiel pour les périodes chaudes

✓ La zone de l'effet de masse:

$$dTm = T \text{ moy max} - T \text{ moy min}. \text{ Donc } dTm = 17.34^{\circ}\text{C}.$$

$$T6 = T2 + 0.5(dTm). \text{ Donc } T6 = 33.63^{\circ}\text{C}.$$

Le point 6 correspond à l'humidité absolue de 12g/kg.

$$T7 = T6 - 0.05 * (T6 - 14). \text{ Donc } T7 = 32.64^{\circ}\text{C}.$$

Le point 7 correspond à l'humidité absolue de 14g/kg.

$$T8 = T6 + 0.2 * (T6 - 14). \text{ Donc } T8 = 37.55^{\circ}\text{C}.$$

Chapitre cinq : présentation du cas d'étude et la méthodologie de la recherche.

Le point 8 correspond à l'humidité absolue de 4g/kg.

La limite d'humidité correspond à la ligne d'humidité relative du point 1.

✓ L'effet de la masse avec la ventilation nocturne :

$$T9 = T2 + 0.8 (dTm). \text{ Donc } T9 = 38.83^{\circ}\text{C}.$$

Le point 9 correspond à l'humidité absolue de 12g/kg.

$$T10 = T9 - 0.05*(T9-14). \text{ Donc } T10 = 37.58^{\circ}\text{C}.$$

Le point 10 correspond à l'humidité absolue de 14g/kg.

$$T11 = T9 + 0.2*(T9-14). \text{ Donc } T11 = 43.79^{\circ}\text{C}.$$

Le point 11 correspond à l'humidité absolue de 4g/kg.

✓ Zone de la ventilation naturelle.

$$T12 = T2 + 5. \text{ Donc } T12 = 29.96^{\circ}\text{C}.$$

Le point 12 correspond à l'humidité absolue de 12g/kg.

$$T13 = T12 + 0.1*(T12-14). \text{ Donc } T13 = 31.55^{\circ}\text{C}.$$

Le point 13 correspond à l'humidité absolue de 4g/kg.

$$T14 = T1. \text{ } T14 = 20.96^{\circ}\text{C} \text{ mais sur la courbe de 90\% de l'humidité relative.}$$

$$T15 = T12 - 0.18*(T12-14). \text{ Donc } T15 = 27.26^{\circ}\text{C} \text{ avec } HR = 90\%$$

✓ La zone de refroidissement avec évaporation direct.

$$T16 = Tn + 12. \text{ } T16 = 35.55^{\circ}\text{C}.$$

Avec les températures humides des points 2 et 3.

✓ La zone de refroidissement avec évaporation indirect.

$$T17 = Tn + 14. \text{ Donc } T17 = 38.55^{\circ}\text{C}.$$

Chapitre cinq : présentation du cas d'étude et la méthodologie de la recherche.

Le point 17 correspond à l'humidité absolue de 14g/kg.

La lecture du diagramme psychométrique du S. V. Szokolay permet de faire sortir les remarques suivantes :

- ✓ La division des mois est en deux catégories : des mois humides et froids appartenant à la saison d'hiver et des mois chauds et secs appartenant à la saison d'été.
- ✓ Une partie des mois Mars, Avril, Mai, Juin, Septembre, Octobre et Novembre appartient à la zone du confort neutre.
- ✓ Pour les mois Janvier, Février, Mars, Avril, Novembre et Décembre, le chauffage solaire passif peut assurer le confort thermique durant la journée mais pour le confort nocturne, un chauffage d'appoint est nécessaire.
- ✓ Les mois de Mai, Juin et Septembre appartient à la zone du chauffage solaire passif en hiver avec l'effet d'une grande inertie thermique afin de stocker la chaleur journalière dans la masse thermique et la restituer durant la nuit.
- ✓ Pour les mois de juillet et Août, un rafraîchissement passif par l'effet d'une grande masse thermique avec une ventilation nocturne est nécessaire pour éviter les surchauffes d'été.

Suite à cette analyse, la recommandation principale est :

D'orienter le Bâtiment vers le sud afin de chauffer passivement en hiver en augmentant la masse thermique avec la ventilation nocturne en été. Cela avec un chauffage d'appoint peut assurer le confort thermique durant toute l'année pour ce type de climat.

V. 1. 3. 2. Application de la méthode de Mahoney:

Les tables du Mahoney sont issues du cours de M^r Mazouz.

Location	Ain Romana (Blida)
Longitude	2°50
Latitude	36°28
Altitude	267m

Chapitre cinq : présentation du cas d'étude et la méthodologie de la recherche.

a) Les tables du diagnostic :

✓ **Table 01 : Température de l'air en (°C).**

	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
T moy max (°C)	18,75	22,25	25,43	26,16	32,91	35,91	36,75	37	33,58	31,57	24,42	20,28
T moy. min (°C)	3,43	4	4,57	9,25	13,58	17,58	21,41	21,7	17,33	13,71	7,85	4,35
E. D. T	15,32	18,25	20,86	16,91	19,33	18,33	15,34	15,3	16,25	17,86	16,57	15,93
	$AMT = (T_{max} + T_{min})/2$ $T_{max} = 37^{\circ}C$ $AMT = 20.21^{\circ}C$ $AMR = T_{max} - T_{min}$ $T_{min} = 3.43^{\circ}C$ $AMR = 33.57^{\circ}C$											

✓ **Table 02 : l'humidité relative (%).**

	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
HR max (%)	79	79	83	81	81	78	77	77	80	79	78	80
HR min (%)	44	39	41	39	35	24	24	27	34	35	41	48
HR moy	61	59	62	60	58	51	51	52	57	57	60	64
Groupe (GH)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Précipitation (mm)	91,36	58,64	75,45	54,13	59,38	2,95	3,63	4,82	41,98	56,88	102,35	115,3
Les vents												

Chapitre cinq : présentation du cas d'étude et la méthodologie de la recherche.

(m/s)	0,88	1	1,07	0,94	0,91	1	0,93	0,99	0,9	0,77	0,83	0,87							
<p>Groupe d'humidité (GH)</p> <table border="1"> <tr> <td>≤ 30%</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>(30 - 50)%</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>(50-70)%</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>≥ 70%</td> <td>4</td> </tr> </table>												≤ 30%	1	(30 - 50)%	2	(50-70)%	3	≥ 70%	4
												≤ 30%	1						
												(30 - 50)%	2						
												(50-70)%	3						
												≥ 70%	4						

Totale annuel pluie : 666.92mm.

Limites du confort

Groupe d'humidité	AMT > 20°C		AMT 15 -20 °C		AMT < 15°C	
	Confort jour	Confort nuit	Confort jour	Confort nuit	Confort jour	Confort nuit
	Min Max	Min Max	Min Max	Min Max	Min Max	Min Max
1	26 34	17 25	23 32	14 23	21 30	12 21
2	25 31	17 24	22 30	14 22	20 27	12 20
3	23 29	17 23	21 28	14 21	19 26	12 19
4	22 27	17 21	20 25	14 20	18 24	12 18

Chapitre cinq : présentation du cas d'étude et la méthodologie de la recherche.

Table 03 : Le confort

	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
Groupe hygrom. (GH)	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03

Température

Moy. Mens. Max.		18,7 5	22,2 5	25,4 3	26,16	32,9 1	35,9 1	36,75	37	33,58	31,57	24,42	20,28
Confort diurne	Maxi	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	Mini	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Moy. Mens. Min.		3,43	4	4,57	9,25	13,5 8	17,5 8	21,41	21,7	17,33	13,71	7,85	4,35
Confort nocturne	Maxi	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	Mini	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17

Stress thermique

Jour	F	F	/	/	C	C	C	C	C	C	/	F
Nuit	F	F	F	F	F	/	/	/	/	F	F	F
C	Trop chaud											
/	Confort											
F	Trop froid											

✓ **Table 4 : Détermination des indicateurs d'humidité ou d'aridité.**

	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.	Total
H1 Mouvement d'air essentiel													00

Chapitre cinq : présentation du cas d'étude et la méthodologie de la recherche.

H2 Mouvement d'air désirable													00
H3 Protection Pluie													00
A1 Inertie thermique	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	12
A2 Dormir dehors													00
A3 Protection du froid	+	+										+	03

Les significations :

		G. H.	EDT	Pluie
H1	C: diurne	4		
	C: diurne	2 - 3	-10°C	
H2		4		
H3				+200mm
A1		1- 2- 3	+ 10°C	
A2		1 - 2		
		1- 2	+ 10°C	
A3	F: diurne			
	F: nocturne			

b) Les tables de recommandations :

Chapitre cinq : présentation du cas d'étude et la méthodologie de la recherche.

Taux d'indicateur											
Humide			Aride								
H1	H2	H3	A1	A2	A3						
00	00	00	12	00	03						
						1. Plan de masse					
			0-10				1	Bâtiment orientés Nord Sud (le long de l'axe Est Ouest.			
			11-12		5-12	*	2	Plan compact avec cour intérieur			
				0-4							

								2. Espacement entre bâtiment		
11-12							1	Grand espacements pour favoriser la pénétration des vents.		
2-10							2	Comme ci-dessous mais avec protection contre les vents froids et chauds.		
0-1						*	3	Plans compacts.		

								3. Circulation d'air		
1-2							1	Bâtiment à simple orientation. Disposition permettant une circulation d'air permanente.		
1-2		2-12		0-5						
				6-		2	Bâtiment à double orientation.			

Chapitre cinq : présentation du cas d'étude et la méthodologie de la recherche.

				12				Disposition permettant une circulation d'air intermittente.
0	0-1					*	3	circulation d'air inutile.

4. Dimension des ouvertures								
			0 ou 1		0		1	Grandes ouvertures (40 à 80)% des façades Nord et Sud.
					1-12		2	Ouvertures moyennes (25 à 40)%
			2-5					
			6-10				3	Petites ouvertures (15 à 25)%
			11-12		0-3	*	4	Très petites ouvertures (10 à 20)%
					4-12		5	Ouvertures moyennes (25 à 40)%

5. Position des ouvertures								
							1	Ouvertures dans les murs Nord et Sud, à hauteur d'homme du côté exposé au vent
1 ou 2	2-12		0-5					
			6-12			*	2	Comme ci dessus, mais y compris ouvertures pratiquée dans les murs intérieurs.
0	0 ou							

Chapitre cinq : présentation du cas d'étude et la méthodologie de la recherche.

	1							
						6. Protection des ouvertures		
					0-2		1	Se protéger de l'ensoleillement direct.
		2-12					2	Prévoir une protection contre la pluie.

						7. Murs et planchers		
			0-2				1	Construction légère, faible inertie thermique.
			3-12			*	2	Construction massive, décalage horaire supérieur à 8heures.

						8. Toiture		
10-12			0-2				1	Construction légère, couverture à revêtements réfléchissantes et vide d'air.
			3-12				2	Couverture légère et bien isolée
0-9			0-5					
			6-12			*	3	Construction massive avec décalage horaire supérieur à 8 heures

						9. Espaces extérieurs		
--	--	--	--	--	--	------------------------------	--	--

Chapitre cinq : présentation du cas d'étude et la méthodologie de la recherche.

				1- 12			1	Emplacement pour le sommeil en plein air.
		1- 12					2	Drainage approprié pour les eaux de pluies.
		3- 12						

Les recommandations suite aux tables du Mahoney:

Par l'application de la méthode de Mahoney, on peut faire sortir les recommandations suivantes :

- ✓ La conception d'un plan compact avec une cour intérieure pour éviter les déperditions thermiques en hiver et afin d'atténuer le déphasage entre la température du jour et celle de la nuit.
- ✓ Assurer un groupement compact entre les bâtiments juxtaposés pour éviter les mouvements d'air inutile pour ce type du climat.
- ✓ La minimisation des surfaces des ouvertures au maximum avec un pourcentage de 10 à 20% par rapport la surface murale.
- ✓ La création des ouvertures dans les façades sud et nord à hauteur d'homme du côté exposé au vent avec la possibilité d'ouvrir sur les murs intérieurs afin de favoriser la ventilation naturelle durant la période du chauffe.
- ✓ L'adaptation d'une construction massive pour assurer un décalage horaire de plus de 8 heures pour assurer un climat intérieur favorable sans les écarts de températures diurnes et nocturnes.
- ✓ La construction d'une toiture lourde bien isolé pour éviter les déperditions thermiques vers le haut en assurant l'effet de masse.

V. 1. 3. 3. Synthèse de l'analyse bioclimatique.

D'après les deux analyses présentés ci-dessus et pour assurer le confort hygrothermique en minimisant la facture énergétique, il est recommandé de :

Favoriser l'orientation Nord Sud afin de profiter du chauffage solaire passif en hiver.

Chapitre cinq : présentation du cas d'étude et la méthodologie de la recherche.

Assurer la compacité des plans pour éviter les déperditions thermiques.

Augmenter la masse thermique pour atténuer les écarts entre les températures journalières et nocturnes.

Assurer une ventilation nocturne pour dissiper la chaleur accumulée durant la journée d'été.

Ajouter un chauffage d'appoint durant les nuits des mois les plus froides de l'année.

V. 2. Présentation du projet cas d'étude (80 Logements HPE à Blida).

Dans le cadre du programme "Eco-bât", l'OPGI du Blida a lancé 80 logements sociaux participatifs (LSP) dans la commune d'Ain Romana.

La conception de projet a été menée au bureau d'étude "DAR", sous la direction de l'architecte Rekia Zouhir.



Figure 107: Vue du chantier (Août 2014). Source auteur

V. 2. 1. Le dossier d'exécution :

✓ le plan de situation :

La situation du Projet " 80 logements HPE" est à la commune de Ain Romana qui est située à 20km de la ville de Blida.

✓ Plan de masse

Il s'agit du 08 blocs organisés en barres linéaire allongées de l'est à l'ouest. Les façades

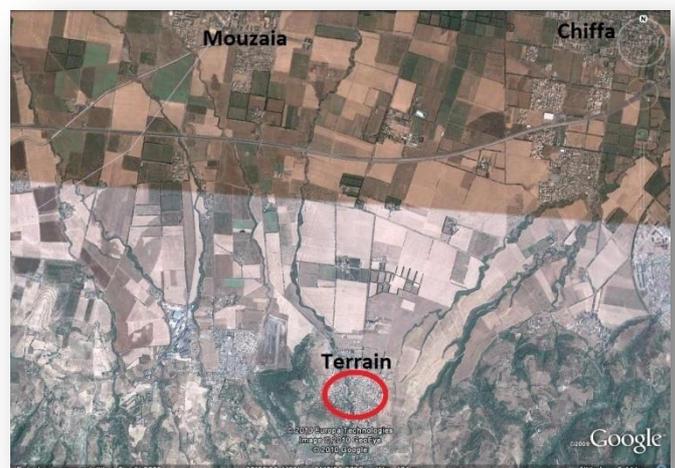


Figure 108: Situation du projet. Source Google Earth.

Chapitre cinq : présentation du cas d'étude et la méthodologie de la recherche.

principales sont orientées vers le Nord bien que les façades arrière sont vers le Sud. Chaque bloc est constitué de 10 logements, du type F3, distribués en R+4.

En plus des blocs résidentiels, le plan de masse est composé par des espaces extérieurs de groupement et de repos, une placette latérale, un parking pour 46 voitures, un air de détente et des espaces verts pour aérer le projet.

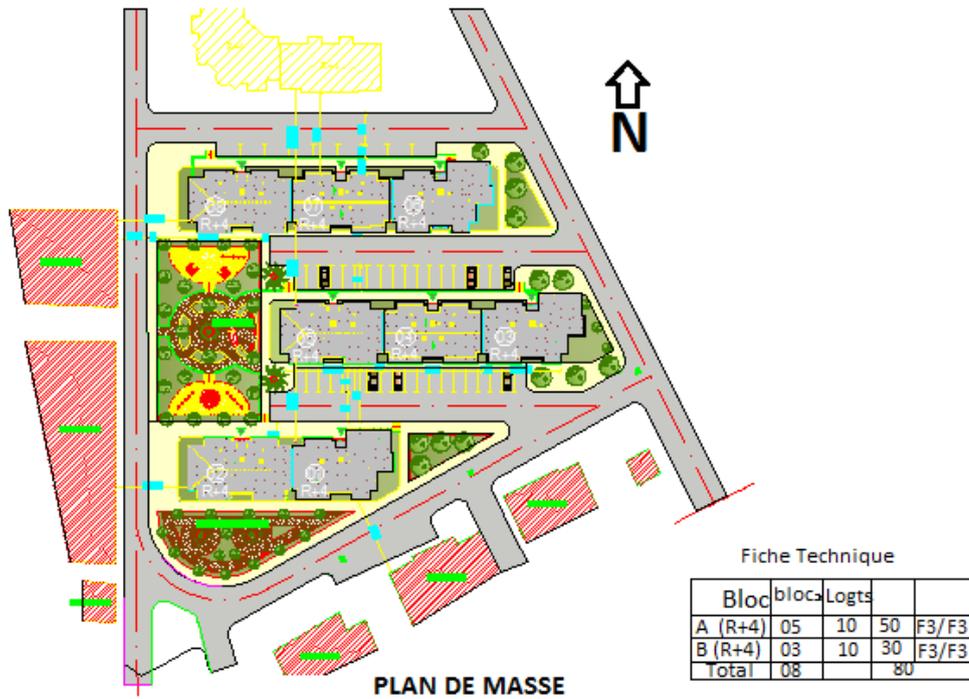


Figure 109: Plan de masse. Source OPGI Blida

Chapitre cinq : présentation du cas d'étude et la méthodologie de la recherche.

✓ Bloc A.

a. Plan RDC

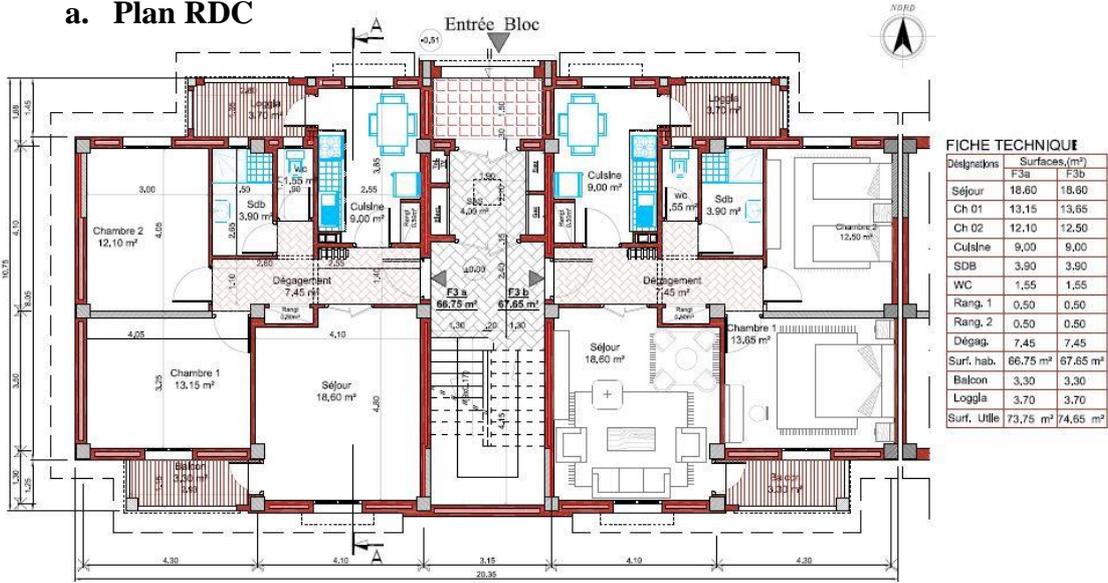


Figure 110: PLAN RDC. Source OPGI Blida.

b. Plan étage courant

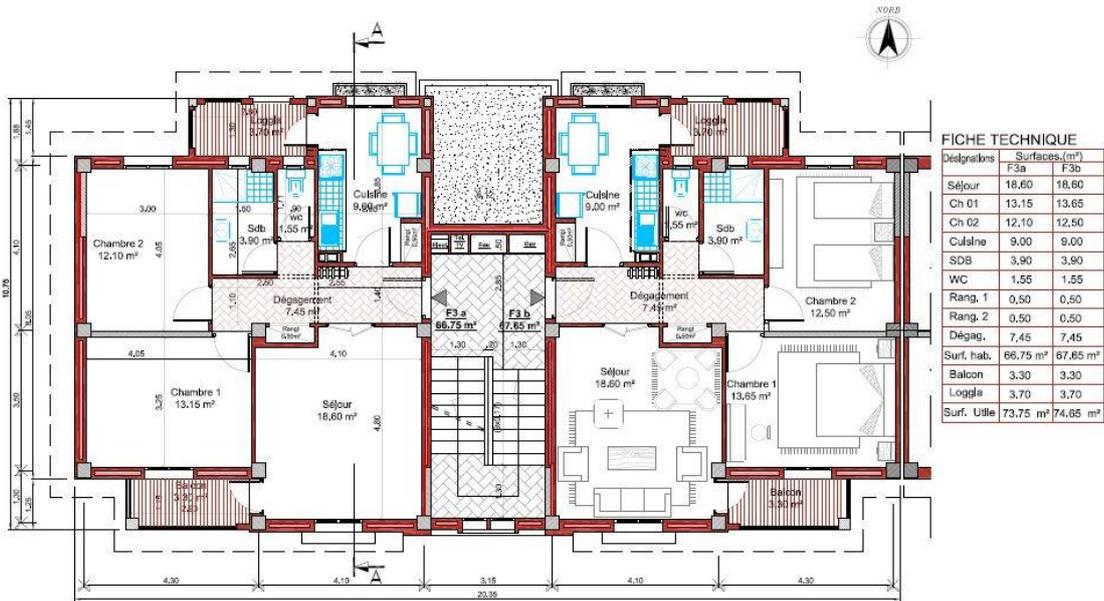


Figure 111: PLAN COURANT. Source OPGI Blida

c. Coupe AA

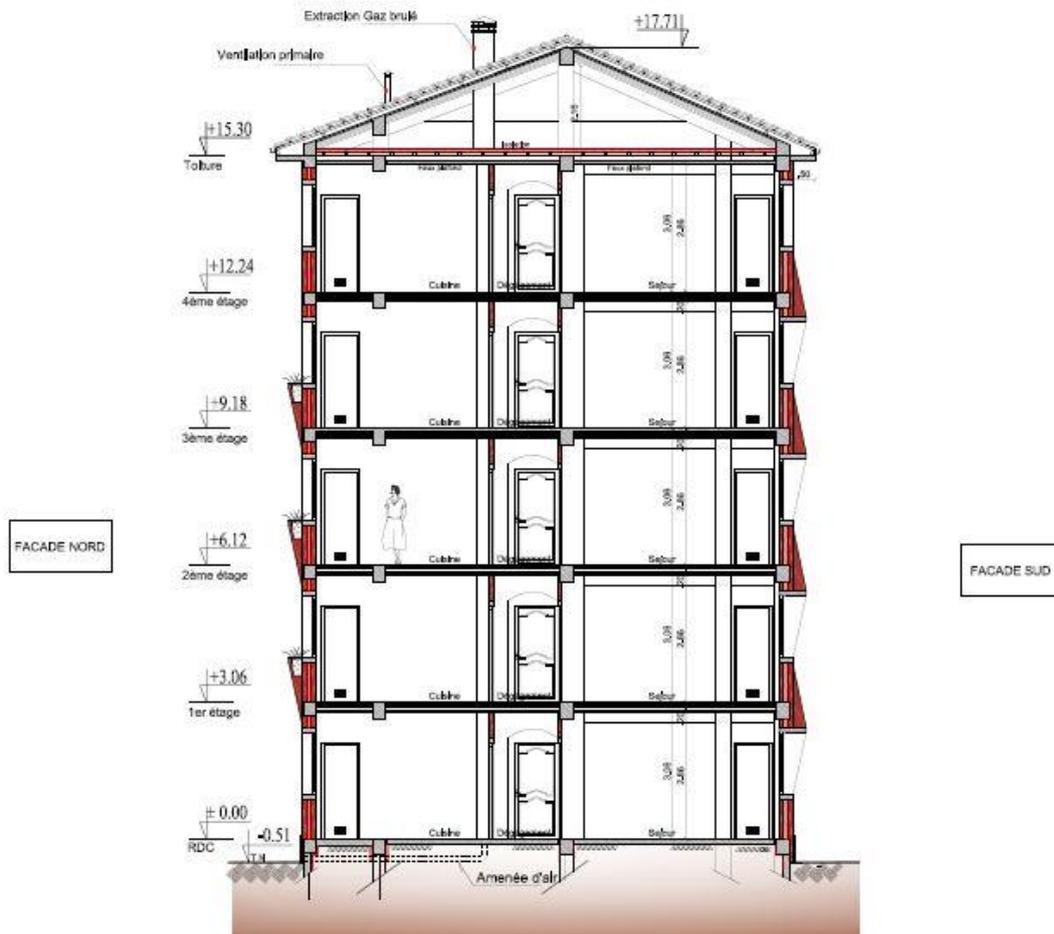


Figure 112: Coupe AA. Source OPGI Blida

d. Coupe BB

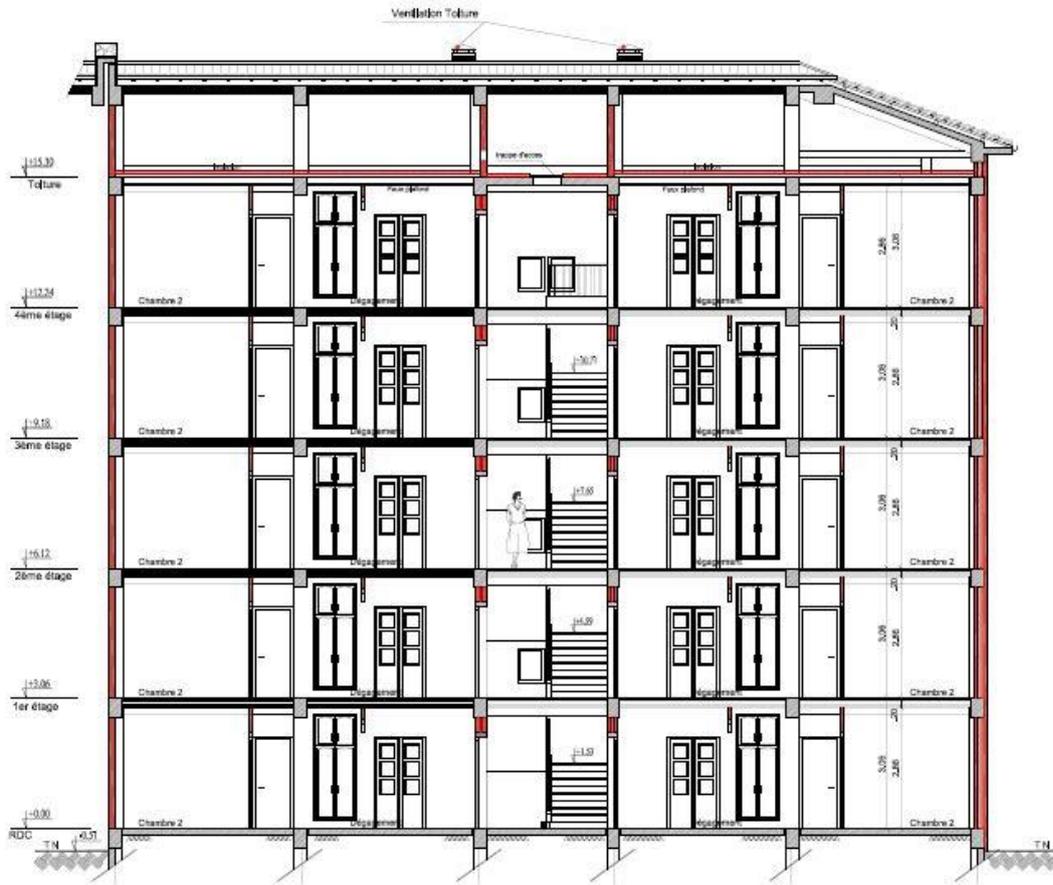


Figure 113: Coupe BB. Source OPGI Blida

e. Les façades



Figure 114: Façade principale (Nord). Source OPGI Blida.



Figure 115: Façade secondaire (Sud).

✓ **Les vues de Synthèse.**



Figure 116: Vue d'ensemble en 3d. Source OPGI Blida

V. 2. 2. Caractéristiques constructives du projet.

Selon le devis descriptif et les détails d'exécution de ce projet (données de l'OPGI), le système constructif du projet est :

- ✓ Une structure en poteaux- poutres en béton armé avec un remplissage de briques creuses en terre cuite.
- ✓ Les murs extérieurs sont construits par un double mur avec une lame d'air de 5cm remplacée par un isolant thermique, le polystyrène.
- ✓ Les fondations sont en béton armé.
- ✓ Les planchers intermédiaires sont en corps creux, constituées par une dalle pleine de 4 cm, des poutrelles et de l'hourdis.
- ✓ La toiture est en pente.
- ✓ Les ouvertures sont en simple vitrage avec un cadre en bois.

Chapitre cinq : présentation du cas d'étude et la méthodologie de la recherche.

Ce système constructif est le même que l'existant en Algérie. Donc Quel est la spécificité de ces logements pour être en HPE ?

V. 2. 3. Les solutions techniques énergétiques du projet.

Pour intégrer le projet dans le climat et pour le rendre en haute performance énergétique, l'architecte a opté pour les solutions suivantes :

- ✓ L'utilisation de polystyrène comme un isolant thermique pour remplacer la lame d'air en 5cm d'épaisseur.

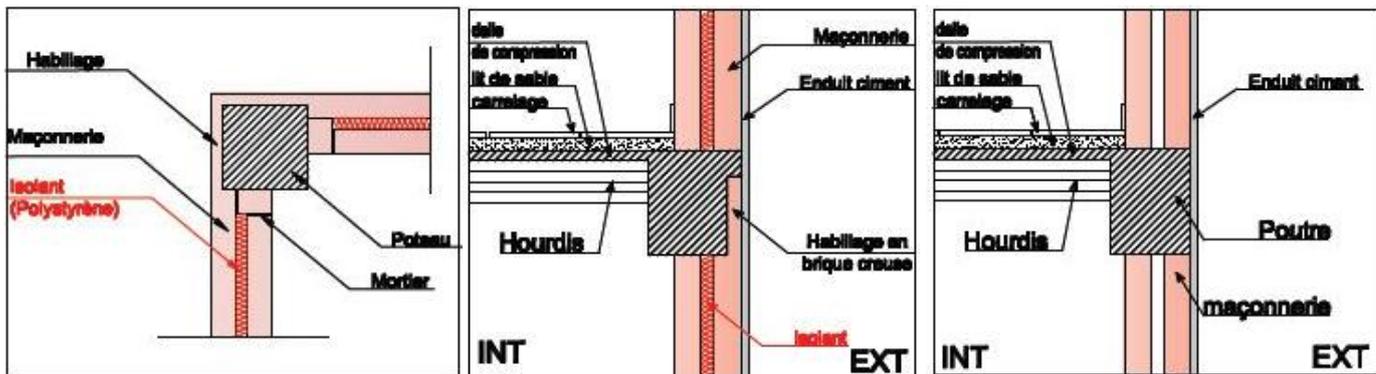


Figure 117: détails du traitement des ponts thermiques (liaison poteaux poutres)

- ✓ Le traitement spécifique des ponts thermiques au niveau des poteaux- poutres par l'habillage en briques creuses ou en isolant thermique (le polystyrène).
- ✓ Pour les ponts thermiques des planchers, il s'agit de les couvrir en polystyrène.
- ✓ Une application de la réglementation du DTR pour l'imbrication des briques en remplaçant les briques (du chaînage) par des épingles stabilisantes.

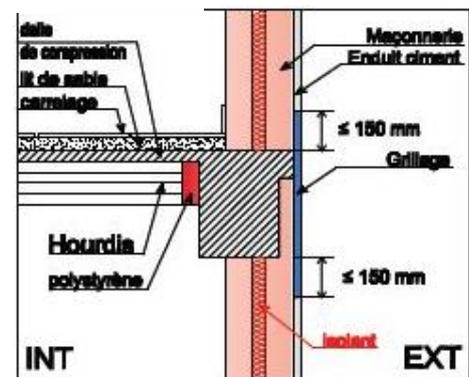


Figure 118: habillage des ponts thermiques du plancher.

- ✓ L'utilisation d'un isolant thermique, la fibre de verre, pour le faux plafond du dernier étage afin d'éliminer les déperditions thermiques vers le comble.

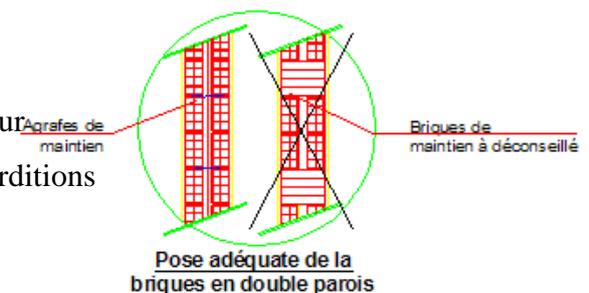


Figure 119: Agencement des briques en double parois

Chapitre cinq : présentation du cas d'étude et la méthodologie de la recherche.

- ✓ Un soubassement en pierre au niveau de RDC tout au tour du bâtiment pour isoler la bâtisse des déperditions thermiques en stabilisant la terre (détail 3).
- ✓ Une couverture en pente pour permettre la déviation des vents dominants en assurant le confort thermique des logements du dernier étage et l'intégration du projet dans son site.

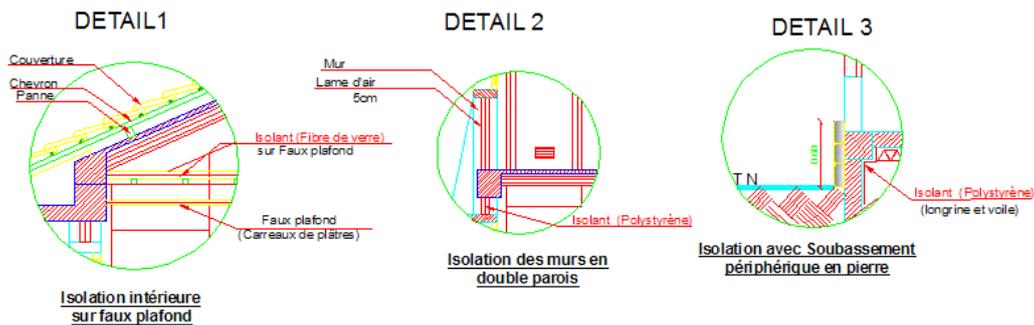
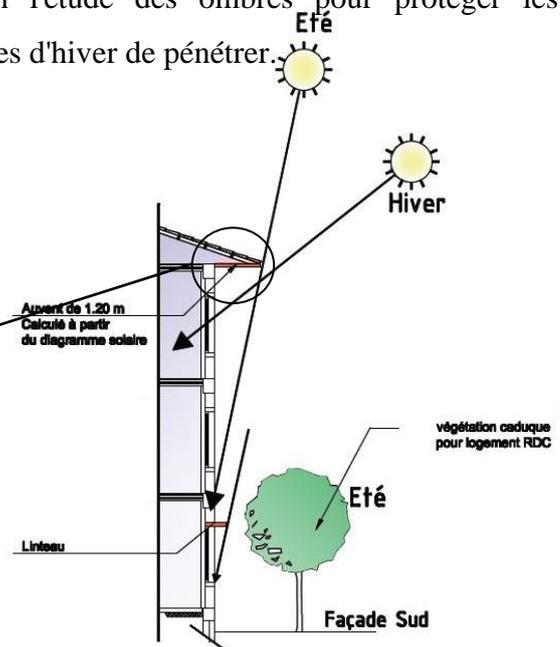


Figure 120: détails d'isolation des différentes parties de la construction

- ✓ Une protection solaire des fenêtres de RDC par une végétation en caduque qui assure l'ensoleillement en hiver et protège des rayons solaires directes d'été. Les façades Sud sont équipées par des auvents dimensionnés selon l'étude des ombres pour protéger les ouvertures en été en permettant aux rayons solaires d'hiver de pénétrer.



Figure 121: détail de protection solaire en auvent de côté Sud



- ✓ Une organisation spatiale adéquate lors des agencements des espaces, le séjour et une chambre sont orientés vers le sud bien que la deuxième chambre, la cuisine et les sanitaires sont ouvertes vers le Nord.

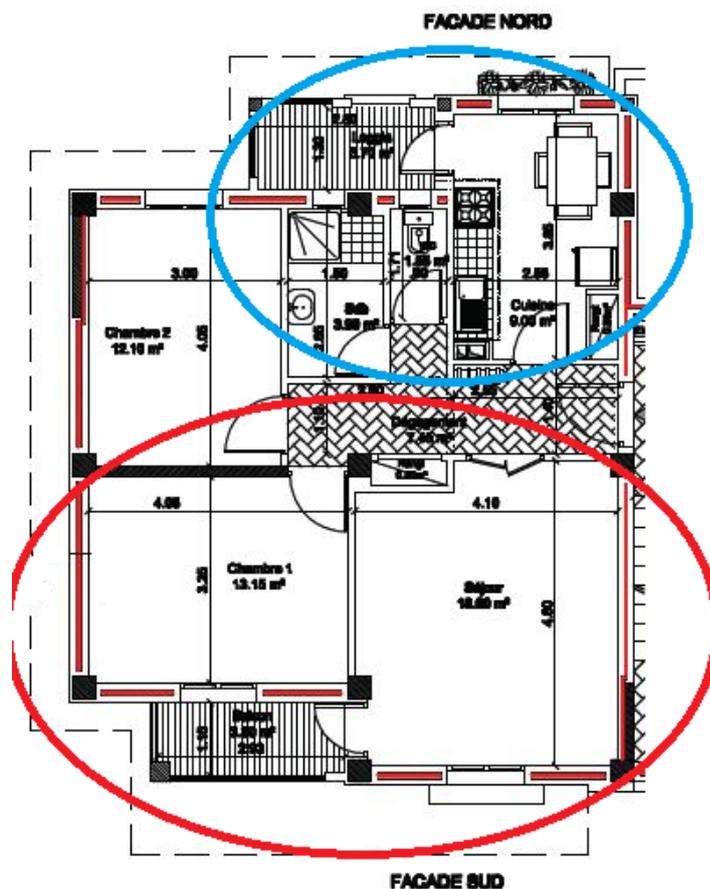


Figure 122: distribution des espaces selon le trajet solaire du plan HPE.

✓ L'utilisation d'une ventilation par puits canadien :

Il s'agit d'un système géothermique à une profondeur de 2 m afin de profiter de la stabilité partielle de la température de la terre. Par un système de la tuyauterie disposée en serpentin, c'est l'extraction de l'air à une hauteur de 1,2 m par une vitesse de 1m/s et son injection à l'intérieur des logements. L'objectif de ce système est de rafraichir l'air en été en stabilisant la température à 15°C et de chauffer en hiver. Durant les mois d'intersaison, le système est déconnecter car le climat extérieur est confortable.

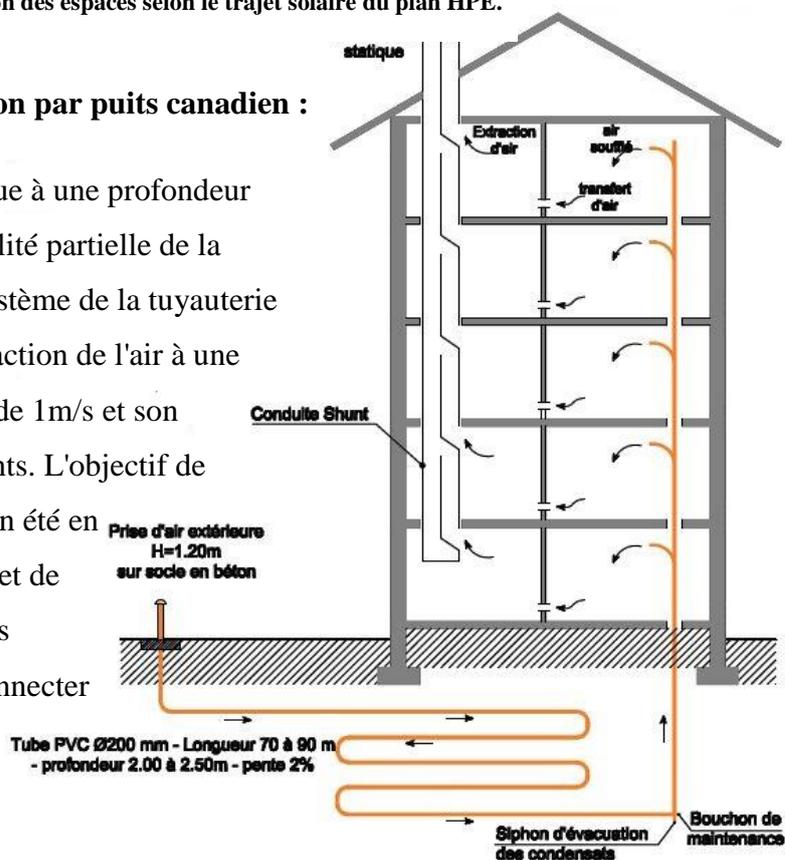


Figure 123: Coupe verticale du puits canadien

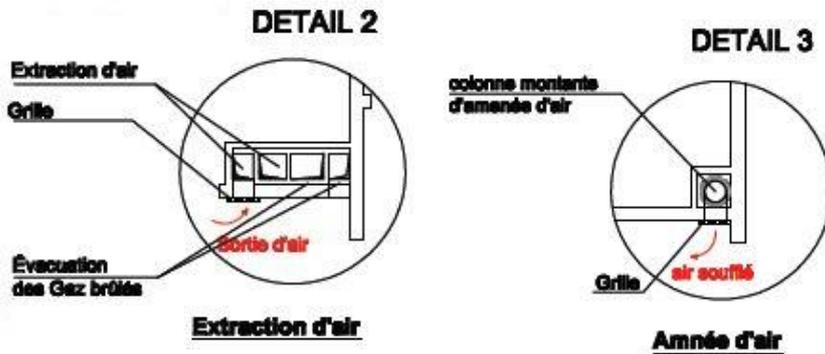


Figure 125: détails du puits canadien

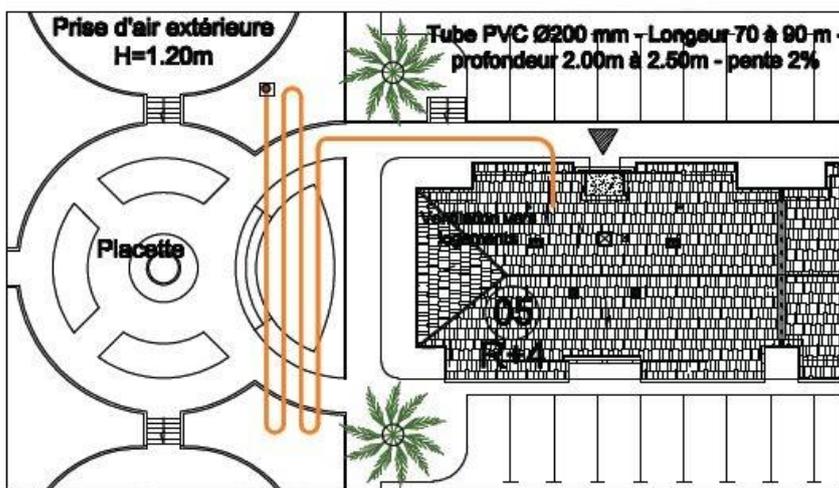


Figure 126: Coupe horizontale du puits canadien

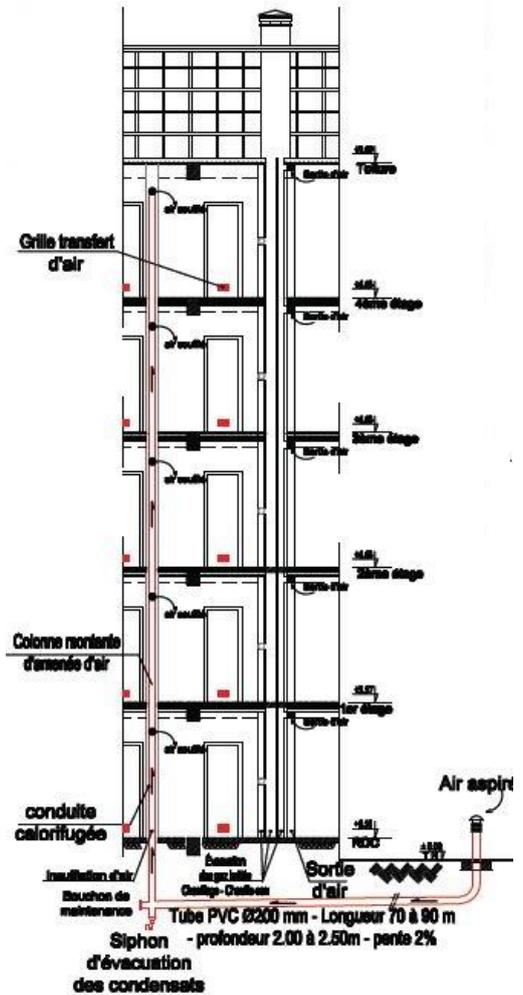


Figure 124: Le circuit d'air par le puits canadien

Ce projet est encore en cour de réalisation, donc afin d'évaluer l'efficacité de ces solutions pour assurer le confort thermique en minimisant la consommation énergétique, il est impératif d'utiliser une simulation thermique comme un outil d'évaluation de cette expérience.

V. 3. Présentation de la méthodologie de la recherche :

Afin d'évaluer l'efficacité énergétique du projet représentant le cas d'étude par rapport à l'existant comme cadre bâti en Algérie d'un côté et par rapport le confort optimal d'un autre côté. Le choix de la méthode de la simulation thermique en utilisant le logiciel TRNSYS 17.1 est pour répondre aux objectifs de cette recherche.

V. 3. 1. Le logiciel de la simulation thermique.

TRNSYS (TRaNsient SYstems Simulation program with a modular structure) est un programme de simulation des systèmes transitoires. Il était développé par le laboratoire « solar energy » de

Chapitre cinq : présentation du cas d'étude et la méthodologie de la recherche.

l'université de WISCONSIN Madison aux Etats Unis depuis Mars 1975. Son utilisation était pour la simulation des systèmes solaires thermiques. (Vitte, T. et al, sans date)

Le logiciel TRNSYS est construit à partir des listes de sous programmes en Fortran qui est un langage utilisé pour compiler les différents modules. Le développement de IISIBAT en CSTB rend l'utilisation de ce logiciel plus à la portée des architectes. Il est un environnement de simulation complet et extensible pour la simulation transitoire des systèmes tels que les Bâtiments multizones. (Benhouhou, M. 2012, Bernier, M.).

Le présent logiciel est caractérisé par une entrée des données lié au projet à simuler (input), un traitement des données suites aux besoins de l'utilisateur et selon le modèle de représentation du bâtiment et une sortie des résultats lié à l'exécution de la simulation (output).

La version TRNSYS 17.1 est renforcée par l'installation du plugin TRNSYS 3d avec le logiciel Google Sketchup afin d'élaborer le projet architectural et le visualiser en 3D. (TRNSYS 17).

Les types les plus utilisés pour la simulation dans le domaine du bâtiment sont :

- ✓ Type 9 : Lecteur de données standard.
- ✓ Type 54 : Générateur des données météorologiques.
- ✓ Type 33 : Lecture à partir du diagramme psychrométrique.
- ✓ Type 16 : Processeur ou générateur d'ensoleillement.
- ✓ Type 56 : Bâtiment multi zones (simuler le comportement thermique du bâtiment).
- ✓ Type 34 : Introduction et simulation des caractéristiques de la fenêtre ; dimensions, type de protections, position de la protection avec détail.
- ✓ Type 25 : Impression des données.
- ✓ Type 65 : Affichage des résultats.

Conclusion.

D'après l'analyse climatique, il s'en résulte que le climat de la ville de Blida est caractérisé par un climat humide et froid en hiver avec un été chaud et sec. Deux saisons sont plus ou moins confortables, le printemps et l'automne.

L'analyse bioclimatique a permis de faire sortir les recommandations pour la conception architecturale. Les spécificités climatiques de la région poussent l'architecte à prendre en considération des solutions bioclimatiques pendant la création de son œuvre architecturale.

La présentation du projet "cas d'étude" en termes des solutions techniques liés à l'efficacité thermique nous amène à poser la question sur le niveau d'adéquation de ces solutions avec les exigences de la haute performance énergétique. La réponse sur cette question sera connue suite à l'investigation par simulation thermique en utilisant le logiciel TRNSYS 17.1.

Par le choix des échantillons représentants du cas d'étude "80 logements", l'objectif du prochain chapitre sera l'évaluation de cette expérience algérienne en faisant sortir les recommandations nécessaires pour l'amélioration de cette dernière.

*Chapitre six : La simulation
thermique, analyse et
interprétation des résultats.*

Introduction

En arrivant à ce dernier chapitre du présent mémoire, c'est le temps de confirmer ou d'infirmier les hypothèses posées dans l'introduction générale. La simulation thermique est l'outil de recherche destiné à cette démonstration.

Afin d'arriver aux objectifs posés au préalable, il s'agit d'évaluer l'expérience nationale dans le domaine de la haute performance énergétique (HPE) en terme du confort thermique et de consommation énergétique par rapport à l'état actuel du secteur constructif en Algérie. D'un autre côté, c'est nécessaire d'améliorer les solutions d'HPE pour étudier les possibilités existantes pour assurer plus du confort thermique en économisant la facture énergétique.

Cette étude pratique repose sur la comparaison entre trois modèles. Un premier cas est lié aux logements standards en Algérie, un deuxième cas représente les plans en HPE (le cas d'étude) et un troisième cas qui offre la possibilité d'amélioration.

La simulation thermique consiste à comparer les températures intérieures et la quantité d'énergie consommée en été comme en hiver.

VI. 1. Description du protocole de la simulation :

La méthodologie de recherche consiste à choisir un appartement qui représente le système constructif ordinaire en Algérie. D'un autre côté, il s'agit de prendre un appartement du projet HPE comme un modèle représentatif du projet.

L'objectif de cette première comparaison est de montrer (de faire ressortir), en utilisant la simulation thermique, l'effet des solutions adoptées par le concepteur du projet HPE sur l'amélioration du confort thermique par rapport à un logement ordinaire.

Une deuxième phase consiste à ajouter des améliorations sur l'appartement de type HPE en augmentant l'épaisseur de l'isolant et en changeant la disposition. La qualité du vitrage en passant d'un simple à un double vitrage et le remplacement d'une légère enveloppe par une enveloppe lourde sont les autres options envisagées.

L'objectif de cette partie est d'évaluer le projet en haute performance énergétique.

Les trois modèles ont le même plan avec les mêmes orientations. Cela permet de minimiser les variables entre les trois cas.

VI. 1. 1. Le premier cas (logement standard) :

Il s'agit d'un appartement représentant du système constructif classique en Algérie. Il s'agit d'un plan virtuel avec les mêmes orientations et la même distribution spatiale que le plan en HPE (deuxième cas). (Voir annexe)

VI. 1. 2. Le deuxième cas (HPE)

Le deuxième modèle (B) pour la simulation est un appartement qui représente l'expérience HPE en Algérie. (Voir annexe).

Le cas choisi est l'appartement (A)

du quatrième étage du côté ouest du

bloc A (HPE). Le critère du choix de ce modèle est sa disposition avec 3 Façades Nord, Ouest et Sud avec sa toiture (quatre faces vers l'extérieur). Cette disposition a le potentiel d'augmenter le risque des déperditions thermiques.

Notre étude va ignorer le puits canadien car il n'a pas été pris en considération lors de la réalisation.

VI. 1. 3. Le troisième cas (HPE amélioré)

Le troisième cas (C1) est le même appartement (A) avec une augmentation de l'épaisseur de l'isolant de 5 à 20cm, le remplacement du vitrage simple avec un autre double et l'utilisation de la brique pleine au lieu de celle creuse au niveau des parois verticales. Pour le plancher haut, il s'agit d'utiliser 10 cm de béton plein avec 20 cm d'isolant. En

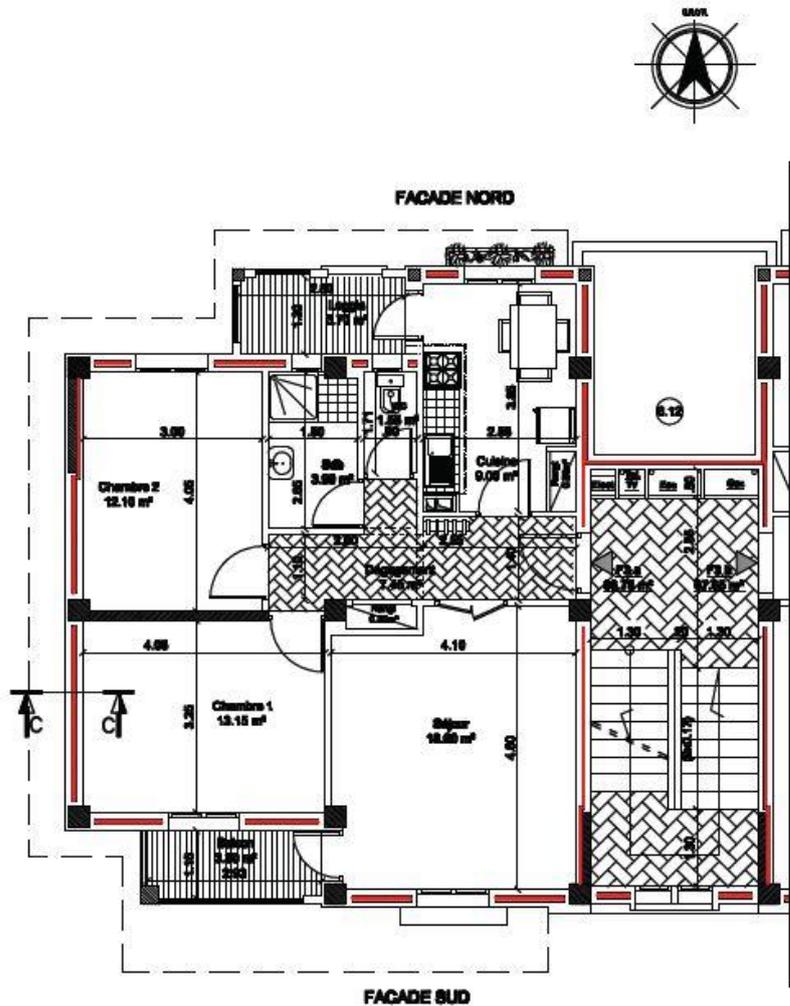


Figure 127: L'appartement, objectif de la simulation

plancher courant, c'est le remplacement du carrelage avec des carreaux de liège afin de séparer thermiquement entre les étages avec l'utilisation de 12cm d'une dalle pleine en béton.

La simulation a été effectuée durant le mois de Juillet pour le confort d'été et le mois de Janvier pour le confort d'hiver. Ces deux mois sont considérés comme les plus défavorables en été et en hiver pour la décennie 2000 à 2009. (ANRH, Blida). (Voir annexe).

VI. 2. Le déroulement de la simulation :

Afin de réussir la simulation thermique par le logiciel TRNSYS 17.1, quatre étapes sont essentielles dans ce processus :

VI. 2. 1. La création du fichier (.idf) :

Cette partie consiste à utiliser le logiciel google SketchUp version 7 ou plus avec la coordination du Plugin TRINSYS 3d qui convient avec cette version. Le SketchUp permet d'importer même des fichier de type (.dwg) ou de créer les volumes en 3d en prenant en compte les zones thermique au lieu des séparations matériels.

Dans cette phase, il s'agit de créer des ouvertures avec les protections solaires qui convient. Les orientations suivants les axes de SketchUp sont celles qui vont être prises en considération lors de la simulation.

Il faut assurer la transmission du fichier de type (.idf) vers TRINSYS sans aucune erreur afin de garantir les résultats de simulation.

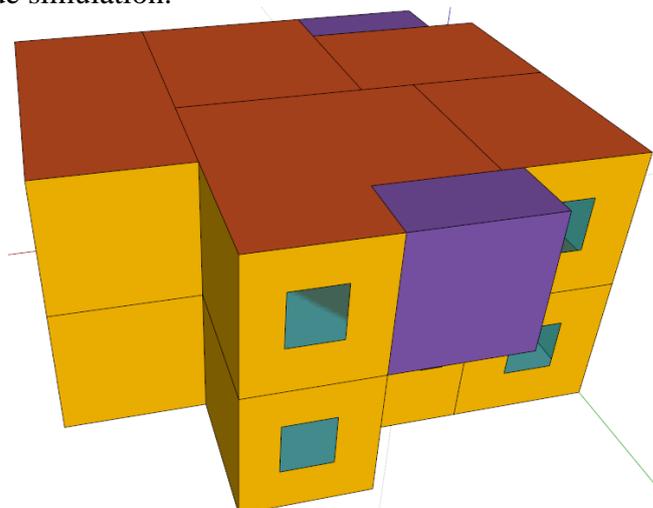


Figure 128: 3d du premier cas. Source auteur.

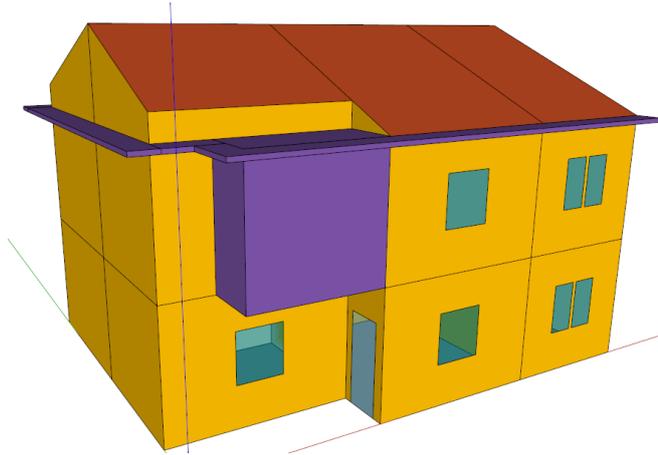


Figure 129: 3d du deuxième cas. Source auteur

VI. 2. 2. La création du fichier climatique (.Tm2) :

Le fichier climatique de type (.tm2) convient avec le TRNSYS. Il est disponible dans la bibliothèque interne du logiciel pour certains pays du monde. L'absence de la ville de Blida m'a obligé d'utiliser le logiciel du Meeonorm afin d'avoir ce fichier.

Le logiciel du Matlab permet aussi d'avoir ce type des fichiers climatiques.

VI. 2. 3. L'ouverture de Simulation Studio :

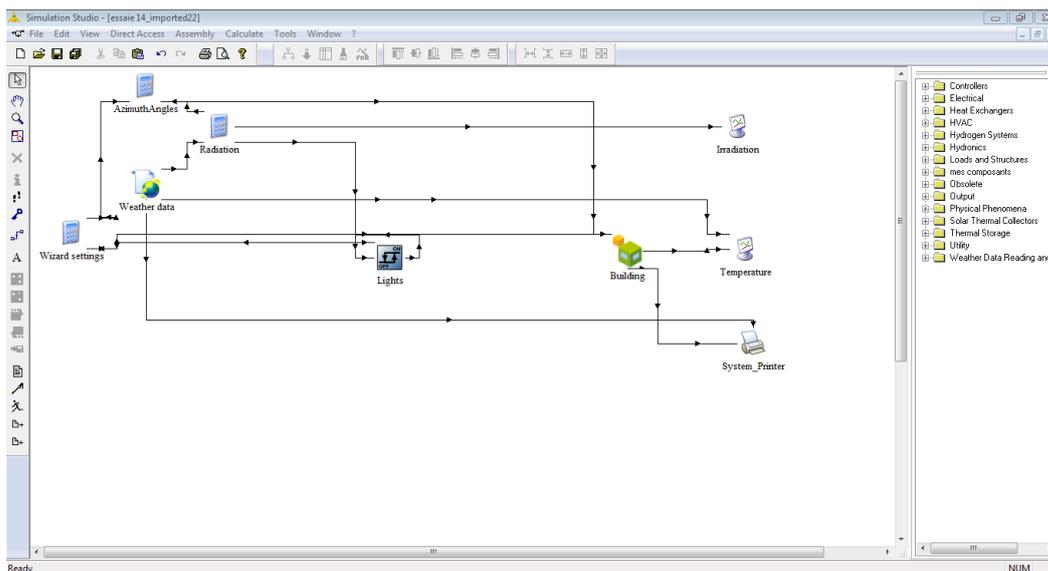


Figure 130: l'interface du TRNSYS. Source auteur

Chapitre six : La simulation thermique, analyse et interprétation des résultats

Le passage vers le TRNSYS nécessite l'ouverture de Simulation studio en intégrant le fichier climatique et le fichier de type (.idf) afin d'avoir l'interface citée au-dessus. Dans cette phase, il est possible de lancer une première simulation.

Pour prendre en considération les paramètres liés à la construction, il faut passer vers TRNBuild.

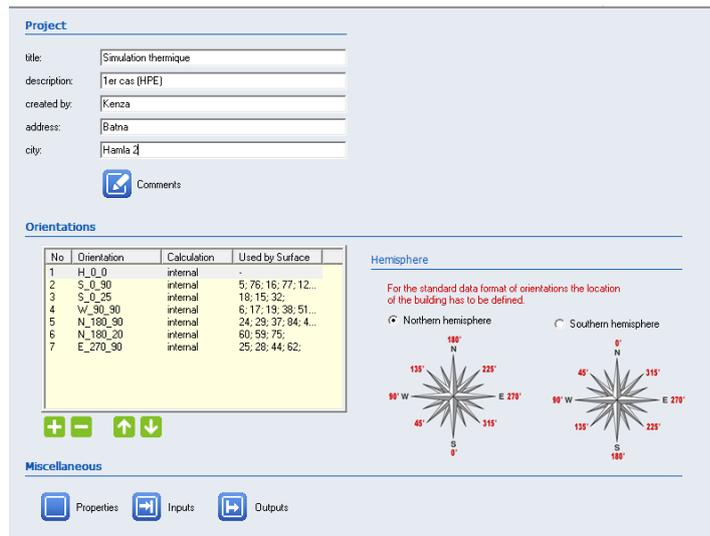


Figure 131: l'interface de TRNBuild. Source auteur.

Ces paramètres sont :

Les composants des parois verticales et horizontaux avec les épaisseurs nécessaires.

Les types des ouvertures extérieures en caractérisant la nature de la vitre et la menuiserie.

Les infiltrations qui varient, pour mon cas, entre 0.5 pour le modèle (C), 0.6 pour le modèle (B) et 0.7 pour le modèle (A).

L'utilisation ou non des appareils pour le chauffage, la climatisation, l'humidité ou la ventilation.

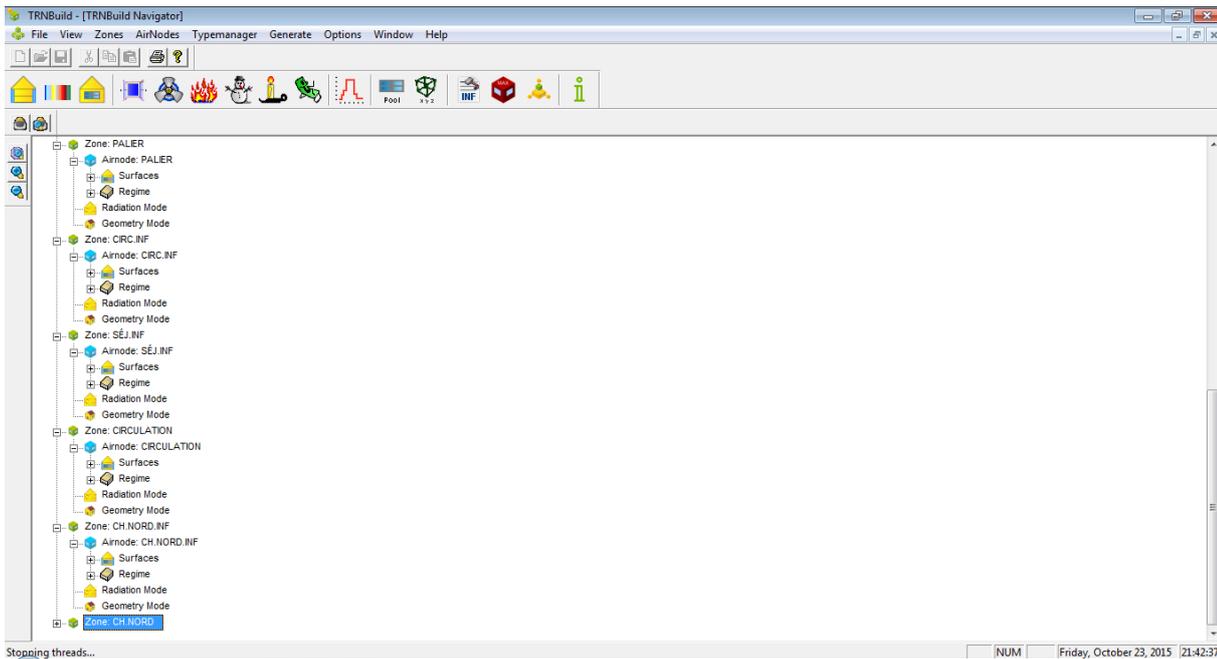


Figure 132: les caractéristiques des zones en TRNBuild. Source auteur.

Il s'agit d'introduire les caractéristiques de chaque zone thermique selon les tableaux cités au dessus.

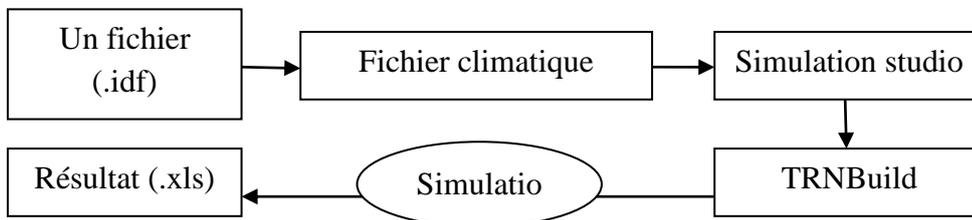


Figure 133: les phases en TRNSYS. Source auteur

VI. 3. Présentation des résultats de la simulation :

Chaque échantillon est composé de dix zones. Les zones considérées par les résultats de la simulation thermique sont le séjour, la chambre sud, la chambre nord et la circulation.

Pour la consommation énergétique, le séjour est équipé par la climatisation en été et la circulation par le chauffage en hiver. La température de base pour déclencher le chauffage est 20 C° bien que la température nécessaire pour démarrer la climatisation est 26C°.

Les résultats d'hiver sont présentés par le mois de janvier pour les températures journalières en prenant les 2 jours les plus défavorables afin de détailler plus les résultats pour les avoir en heure par heure.

Les résultats d'été sont présentés par le mois de juillet en précisant 3 journées types pour plus du détail.

VI. 3. 1. Le premier cas (modèle A) : (voir annexe 1 pour les propriétés des parois).

Après l'introduction des paramètres nécessaires, c'est le temps de présenter les résultats par le type 25 en utilisant un fichier de type Excel.

Les températures ambiantes d'hiver de la ville de Blida sont caractérisées par un grand déphasage entre jour et nuit. La température maximale peut arriver à 20.35°C bien que celle minimale ne dépasse pas 2.55 °C.

Les appartements testés sont considérés sans aucun gain thermique ni un système de chauffage ou climatisation. L'objectif est de maîtriser le comportement d'enveloppe seulement.

Pour le présent cas, il s'agit d'un logement représentant la grande majorité du cadre constructif sur le territoire national. Les résultats de la simulation d'hiver sont sur le graphe suivant :

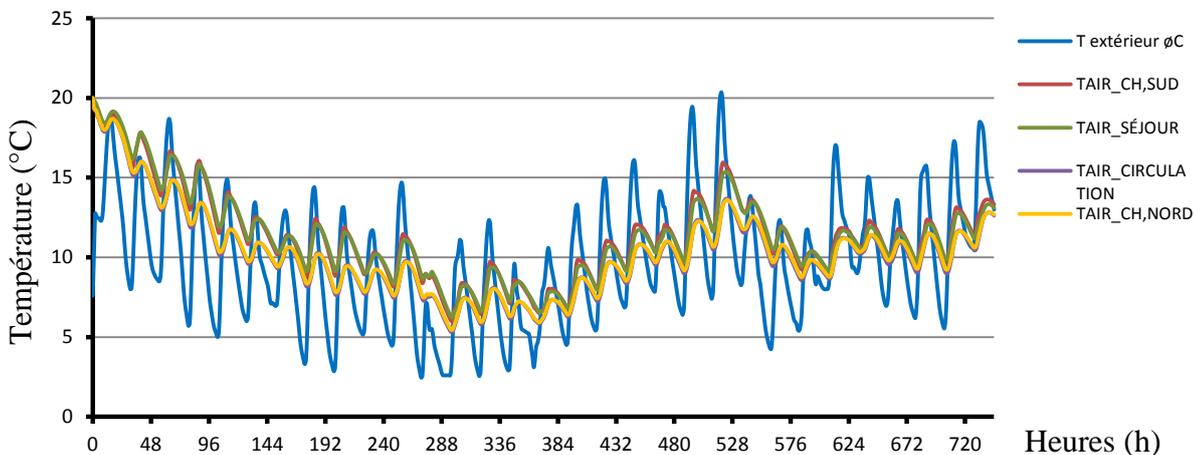


Figure 134: simulation d'hiver du modèle (A). Source auteur.

Les courbes des températures présentent des fluctuations importantes. Le séjour avec la chambre sud ont des températures variant entre 6°C et 20°C. La chambre nord avec l'espace circulation répondent avec des valeurs allant de 5.30°C à 20°C.

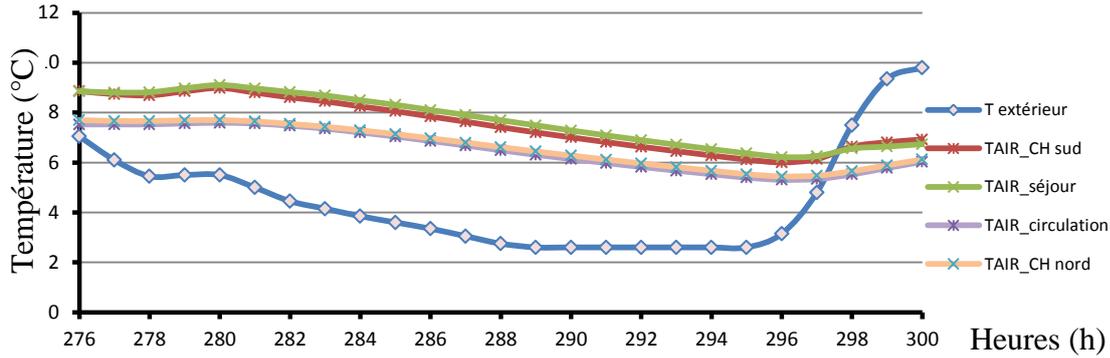


Figure 135: tronçon détaillé de la simulation d'hiver. Source auteur.

Ce tronçon présente des valeurs entre 6.22°C et 8.86°C pour le séjour et la chambre sud. La chambre nord avec la circulation sont caractérisées par des températures allant de 5.30°C à 7.70°C.

La simulation du présent cas montre que l'absence d'un isolant thermique au niveau des parois extérieures provoque des ambiances thermiques plus froides ou la température baisse jusqu'à 5°C. La présence d'une lame d'air n'est plus suffisante suite aux défauts de la réalisation et des ponts thermiques. Le simple vitrage est une source des déperditions thermiques fatales.

En considérant que la température du confort est de 20°C, les espaces du premier cas sont loin d'être confortables. Donc un recours à un chauffage est primordial afin de corriger la situation thermique.

En été :

Les températures extérieures estivales de la ville de Blida sont caractérisées par des fluctuations importantes arrivent à 10°C ou la valeur minimale est de 17°C et celle verticale est de 40°C.

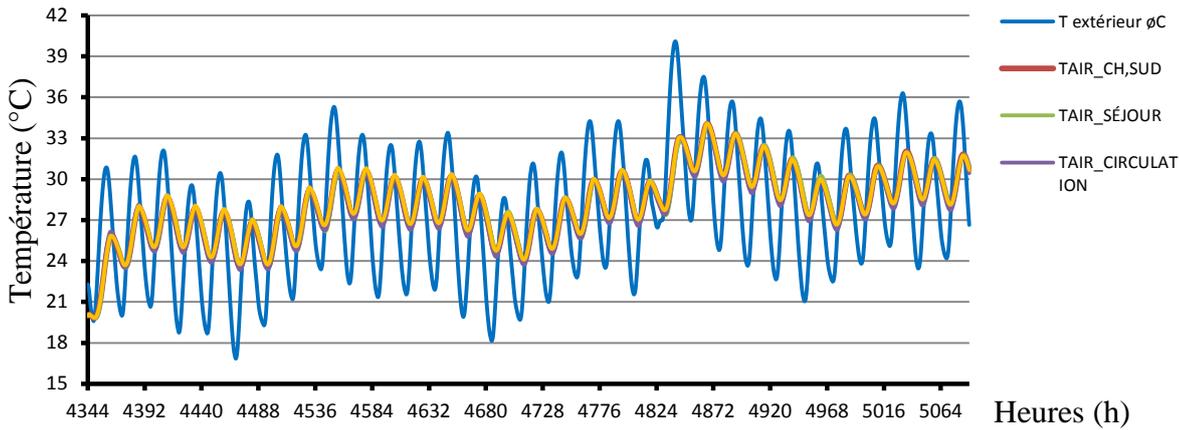


Figure 136: Simulation du modèle (A). Source auteur.

En passant vers la simulation estivale du modèle (A), les résultats mentionnés sur le graphe présentent tous les espaces avec des valeurs de température très rapprochées allant de 20°C à 34°C.

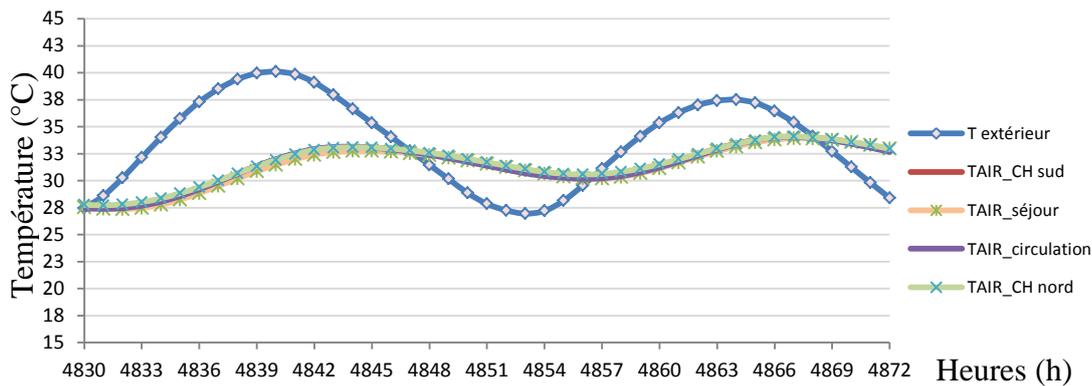


Figure 137: tronçon détaillé de la simulation d'été. Source auteur.

Le tronçon détaillé, contenant la journée la plus défavorable du mois de juillet, montre la réaction thermique des différents espaces par rapport aux ambiances extérieures. Les températures des chambres nord et sud sont entre 28°C et 34°C. Les mêmes valeurs sont pour la circulation et le séjour.

La simulation estivale montre de surchauffes dues à l'absence de l'isolation thermique, l'utilisation du simple vitrage et la présence des ponts thermiques liés aux défauts de réalisation.

La faible inertie thermique de la brique creuse favorise un déphasage entre le jour et la nuit qui peut arriver à plus de 4°C.

En été, les logements ordinaires ont besoin d'une climatisation mécanique afin d'améliorer les ambiances intérieures.

VI. 3. 2. Le deuxième cas (le modèle B) : (voir annexe pour les propriétés des parois).

Il s'agit du plan en HPE.

En hiver

Les résultats journaliers de la simulation d'hiver de ce cas présentent les remarques suivantes :

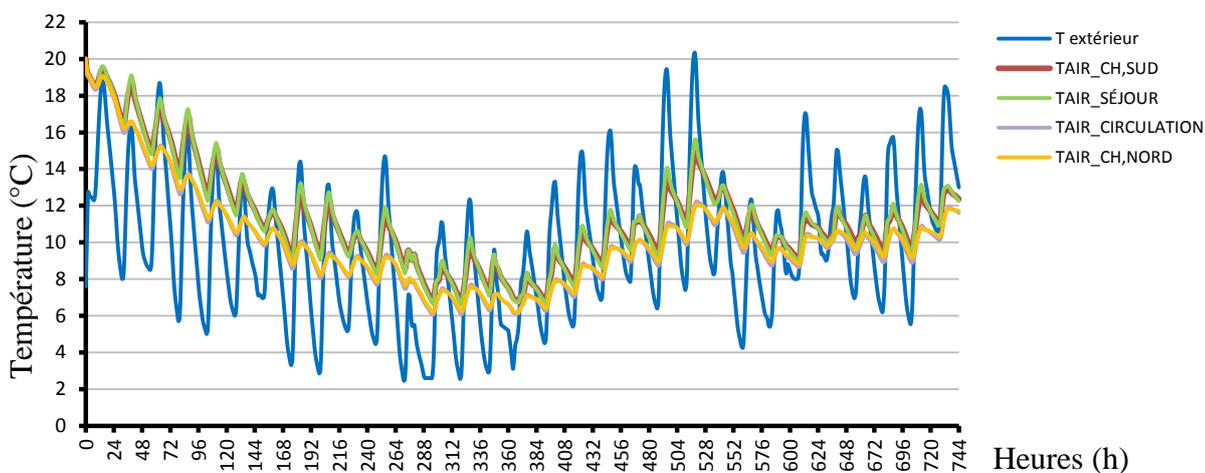


Figure 138: Simulation d'hiver du deuxième cas. Source auteur

Une petite augmentation des températures intérieures des quatre zones testées par rapport à celles extérieures avec des valeurs qui varient entre 6.00°C et 20.00°C.

Le graphe situé au-dessus présente des fluctuations des températures des quatre zones thermiques moins importantes que celles extérieures. La chambre sud avec le séjour sont caractérisés par les meilleures valeurs des températures intérieures avec une plage qui va de 6.80 °C à 20.00 °C. La chambre nord et la circulation sont les plus froides avec des valeurs de 6.00°C à 20°C.

La différence entre les espaces du nord et ceux du sud est de 2°C à 4°C. Cela est suite à l'avantage d'orientation sud qui favorise l'ensoleillement passif en hiver. Les ambiances intérieures sont améliorées par rapport à l'extérieur par des valeurs arrivant à 8°C. Cette amélioration est due à l'isolation de l'enveloppe par le polystyrène de 5cm.

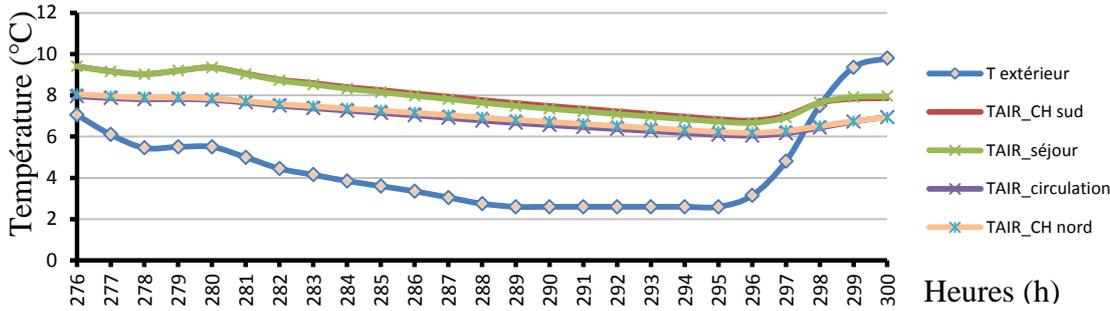


Figure 139: le tronçon détaillé de la simulation d'hiver. Source auteur.

Les températures horaires détaillées, des deux jours les plus défavorables, (12 et 13 Janvier) sont considérées comme une loupe sur ce tronçon du graphe d'hiver. La diminution considérable des températures hivernales du 2.60°C à 10°C est corrigée par une augmentation thermique à l'intérieur de la chambre sud et le séjour avec une plage de 7°C à 9.5°C. La chambre nord avec la circulation sont caractérisées par 6°C à 8°C. Une différence entre les ambiances intérieures et celles extérieures peut arriver à 5°C.

Les températures intérieures peuvent baisser jusqu'à 6°C malgré la présence de l'ensoleillement à l'extérieur avec des températures de 13°C durant la même journée. La faible masse thermique des parois constituée de la brique creuse avec la surface réduite des ouvertures sont les principaux causes de l'absence d'une stratégie réussie de l'ensoleillement solaire passif. L'utilisation du simple vitrage augmente les déperditions thermiques vers l'extérieur.

Les résultats du deuxième cas, sans prendre en considération un appoint du chauffage ni les gains internes, montre des valeurs d'une température loin de celle du confort thermique.

En été

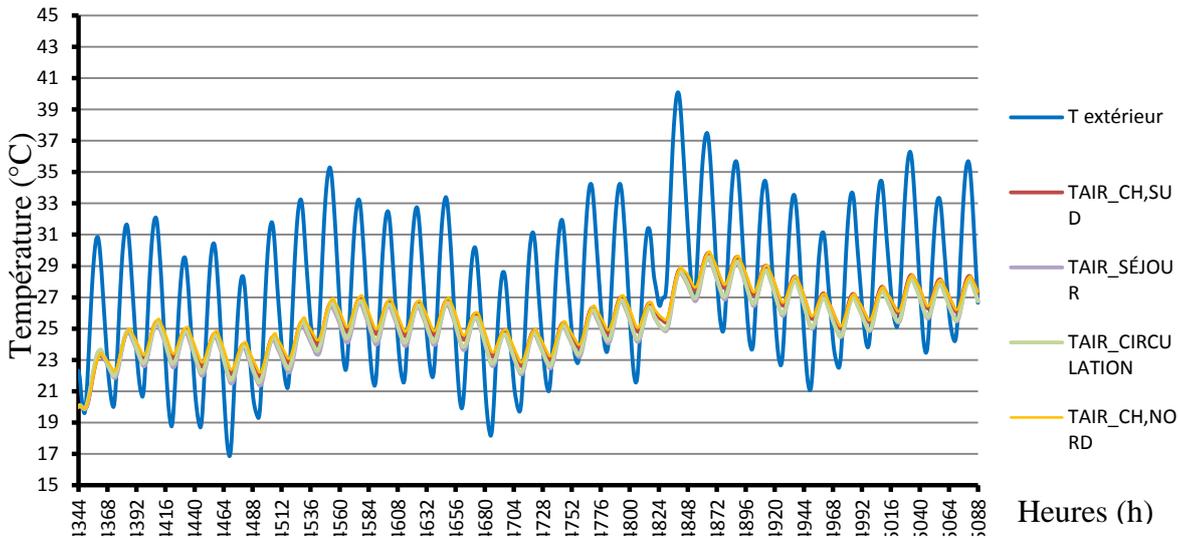


Figure 140: Simulation estivale du deuxième cas. Source auteur.

Pour toutes les zones thermiques, les températures sont variées entre 20°C à 30°C. Une différence de 1°C est entre les espaces situant en est et ceux d'ouest. Les chambres nord et sud sont les plus chaudes suite à la présence de la paroi ouest.

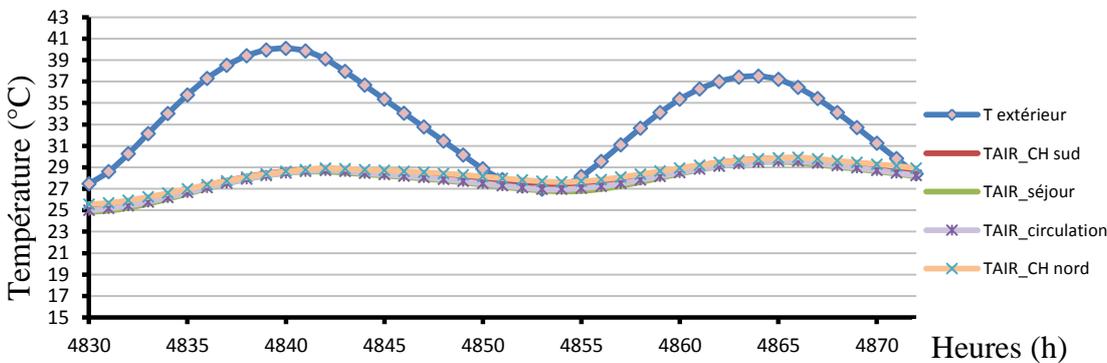


Figure 141: tronçon détaillé de la simulation d'été. Source auteur.

Le tronçon détaillé représente trois jours les plus défavorables de juillet avec des températures extérieures journalières dépassant 40°C (21, 22 et 23 juillet). Les espaces du premier cas sont caractérisés par des valeurs plus ou moins stables, allant de 25 °C à 30°C.

En considérant que la température du confort estivale est de 26°C, l'appartement du ce cas est proche d'être confortable sans aucun outil mécanique de refroidissement. Les chambres nord et sud

ont les mêmes valeurs de température suite à la présence de la paroi ouest qui est une source de surchauffe en été dont la faible diffusivité de la brique creuse minimise le temps de restitution de la chaleur.

La protection thermique par une avancée de toiture et l'utilisation des balcons pour la façade sud ont permis d'éviter les surchauffes, liés à l'ensoleillement direct, dans les espaces de ce côté. Pour cela les températures de la partie sud sont équivalentes à celles de la partie nord. La différence est entre les espaces de la partie est, ayant une seule façade vers l'extérieur, avec la partie ouest caractérisée par deux parois extérieures.

Ce présent cas va être comparé avec les autres cas afin d'arriver au modèle idéal en haute performance thermique en améliorant le confort thermique en hiver comme en été tout en réduisant la facture énergétique.

VI. 3. 3. Modèle (C), 3^{ème} cas :

Afin d'arriver à la meilleure procédure, il s'agit d'essayer 5 variables en commençant par le changement de la disposition de l'isolation en trois positions ; une isolation intermédiaire, intérieure et extérieure. Ensuite, c'est l'utilisation d'une enveloppe avec grande inertie thermique sans isolation. Enfin, c'est le couplage entre une grande inertie thermique avec une isolation du côté extérieur.

VI. 3. 3. 1. L'isolation intermédiaire : (voir annexe pour les propriétés des parois).

Ce variable est le modèle C1. Il s'agit de simple remplacement de la brique creuse par celle pleine avec une augmentation d'épaisseur d'isolant. Cette disposition est équivalente aux cas précédents.

En hiver :

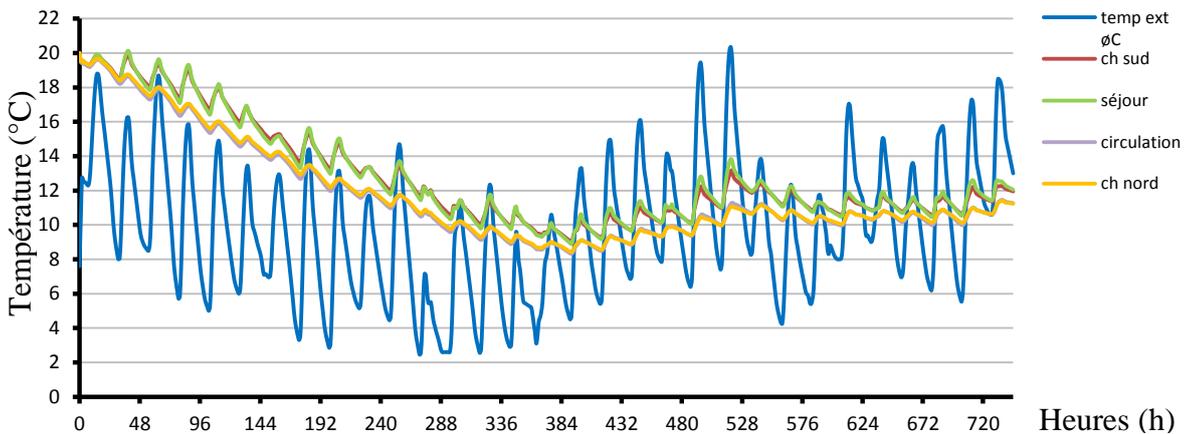


Figure 142: Simulation d'hiver du modèle (C1).Source auteur

L'amélioration du premier cas conduit à créer le modèle (C) qui offre la possibilité d'augmenter l'isolation thermique en minimisant les déperditions vers l'extérieur. La simulation hivernale produit le graphique cité au-dessus. Ce dernier montre les températures intérieures des espaces constituant l'appartement du troisième cas. La circulation et la chambre nord sont caractérisées par des températures allant de 8°C à 20°C. La chambre sud et le séjour, les plus chaudes, ont des valeurs variantes entre 9°C et 20°C.

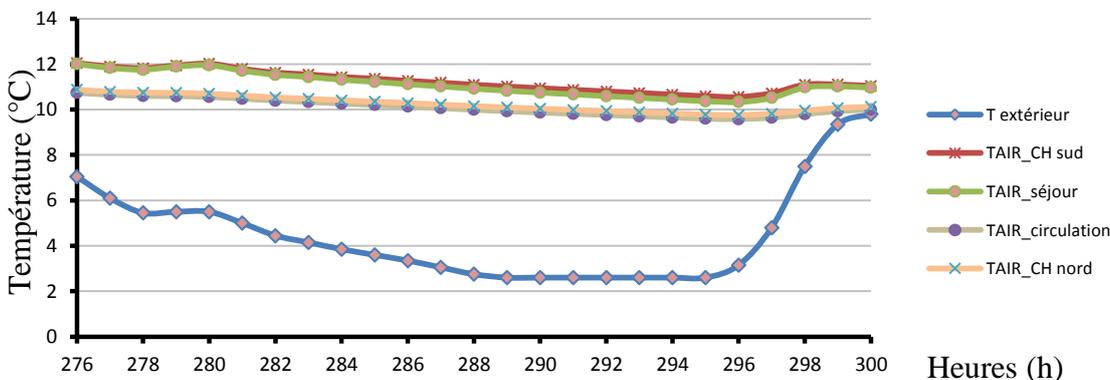


Figure 143: Tronçon détaillé de la simulation d'hiver. Source auteur.

Le tronçon détaillé des jours les plus défavorables. Les lignes des graphes présentent une stabilité qui représente une atténuation des fluctuations des températures extérieures. Cela est montré par des valeurs de températures entre 9,5°C et 11°C pour les espaces situés au nord, la chambre nord et la circulation. Pour la chambre sud et le séjour, il s'agit d'un passage vers des valeurs entre 10,5°C et 12°C. L'amélioration thermique est de 8°C par rapport à l'extérieur.

Les résultats du présent cas montrent une amélioration des conditions thermiques. L'augmentation marquée des températures au niveau de quatre espaces simulés est liée aux modifications du système constructif d'enveloppe.

En commençant par les parois verticales, par le remplacement du simple vitrage avec un double vitrage va permettre de minimiser les déperditions thermiques. En suite, c'est l'utilisation de la brique pleine au lieu de celle creuse crée une enveloppe plus lourde. Enfin, l'augmentation de l'épaisseur d'isolant thermique de 5cm à 20cm favorise plus d'étanchéité à l'enveloppe thermique.

En passant vers le plancher haut qui peut provoquer 30% des déperditions thermiques, l'amélioration de cette dernière consiste à utiliser 20cm de béton plein en augmentant l'épaisseur d'isolant.

Enfin, le remplacement du carrelage ordinaire par des carreaux du liège afin d'isoler thermiquement l'étage courant de celui inférieur.

Malgré l'amélioration des résultats de La simulation thermique hivernale du troisième cas, les températures minimales restent loin du confort thermique. Donc un chauffage d'appoint est nécessaire afin d'arriver au confort thermique

En été :

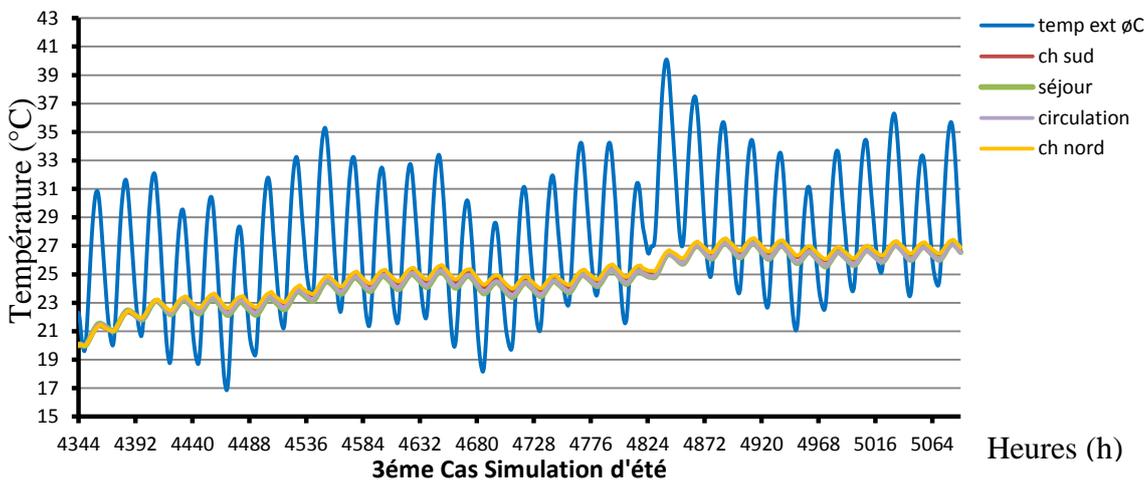


Figure 144: Simulation d'été du modèle (C1). Source auteur.

La simulation estivale du troisième cas indique une amélioration au niveau des valeurs des températures par rapport aux autres cas. Le séjour avec La circulation offrent des ambiances thermiques variant entre 20°C et 27°C. Les deux chambres nord et sud sont caractérisées par des

températures allant de 20°C à 27.50°C. Cela présente une amélioration par plus de 13°C par rapport à l'extérieur.

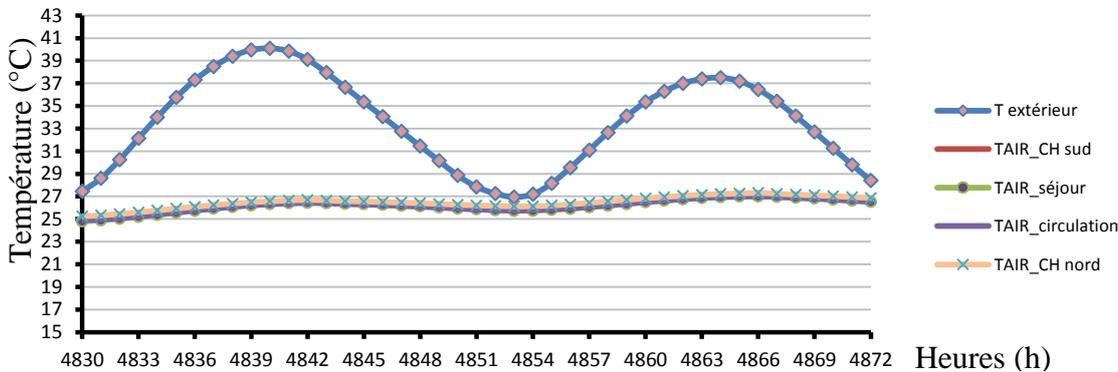


Figure 145: Tronçon détaillé de la simulation d'été.

Le tronçon représentant les jours les plus chauds de l'année montre une réaction thermique stable des quatre espaces mentionnés sur le graphe. Ils réagissent par des températures allant de 25°C à 27°C.

La simulation estivale montre une diminution de la température maximale à 27°C par rapport à celle extérieure de 40°C. Donc cela favorise 13°C de différence entre l'intérieur et l'extérieure. Cette situation thermique du présent cas est idéale pour s'adapter à un climat chaud et humide. Le besoin d'une climatisation est minimal vu le degré nécessaire pour le déclenchement du climatiseur est 26°C.

Le déphasage entre jour et nuit est moins de 1°C vu la présence d'un mur plein qui favorise une absorption de chaleur journalière afin de la restituer durant la nuit.

L'épaisseur d'isolant avec la protection thermique empêchent la pénétration des surchauffes extérieures comme l'utilisation du double vitrage évite la perte de la fraîcheur intérieure.

Afin d'arriver à un cas idéal pour un confort hivernal comme estival, on va proposer d'autres variables du présent cas.

VI. 3. 3. 2. L'isolation intérieure : C2 (voir annexe pour les propriétés des parois).

Il s'agit d'utiliser 20cm d'isolant sur la partie intérieure de la paroi avec 20cm du béton plein.

Simulation d'hiver

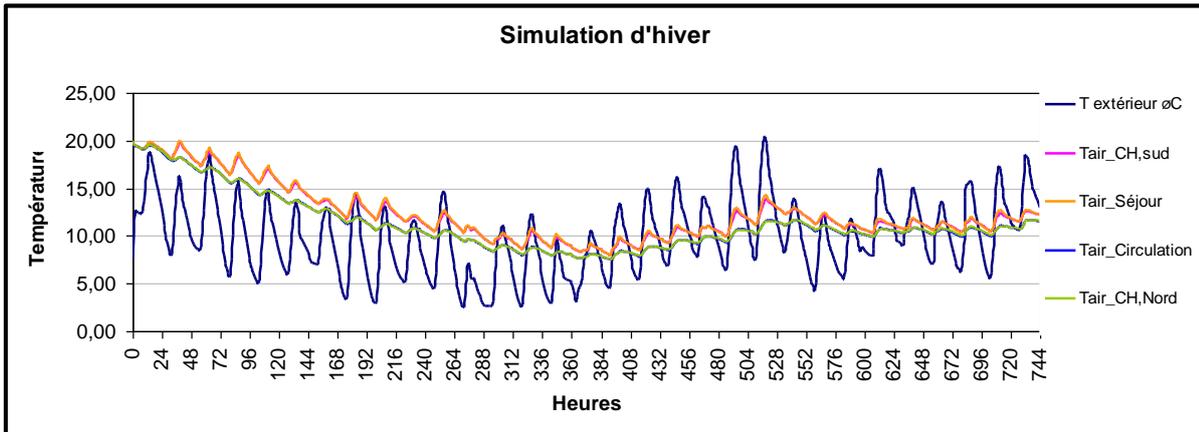


Figure 146: Simulation d'hiver du modèle (C2). Source auteur.

La simulation d'hiver montre des valeurs de température entre 7.50°C et 20°C pour les espaces du nord (la chambre nord et la circulation) et entre 8°C pour la chambre sud et le séjour.

L'isolation intérieure annule l'effet d'inertie thermique. Donc ces résultats sont liés essentiellement à l'effet de l'isolation.

Le confort d'hiver est lié directement à l'accumulation de la chaleur dans les matériaux de construction. L'absence d'une masse thermique a provoqué une diminution de la température minimale par rapport à la variante précédente (C1).

La simulation d'été :

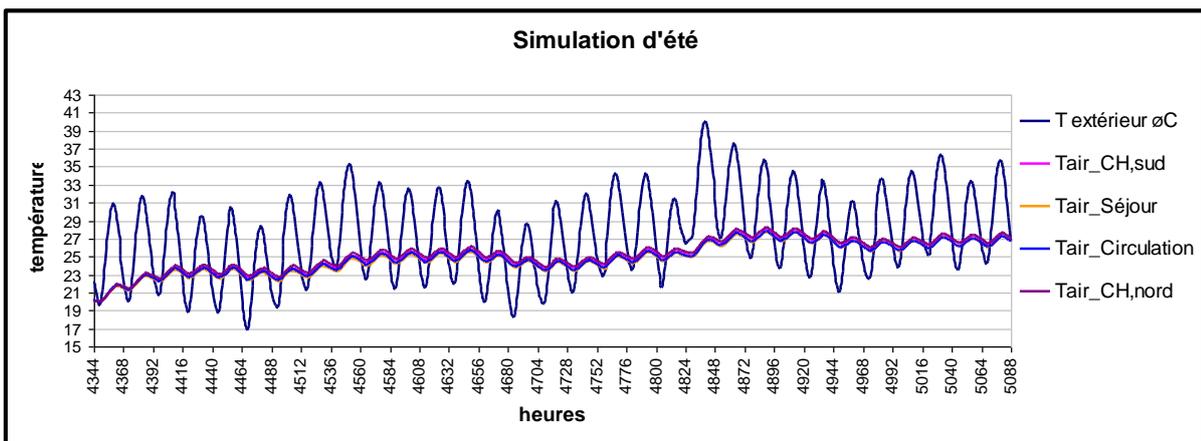


Figure 147: Simulation d'été du modèle (C2). Source auteur

La simulation estivale indique des valeurs entre 20°C et 28°C pour les quatre espaces. L'absence de la masse thermique a provoqué une augmentation de la température par 1°C par rapport à la variante précédente.

L'isolation du côté intérieur de la paroi ne présente pas une amélioration par rapport à l'isolation intermédiaire.

VI. 3. 3.3. Isolation extérieure : C3 (voir annexe pour les propriétés des parois).

Pour cette variante, il s'agit d'étudier l'influence de l'isolation extérieure sur le confort thermique en minimisant l'épaisseur de la partie pleine de la paroi.

Simulation d'hiver

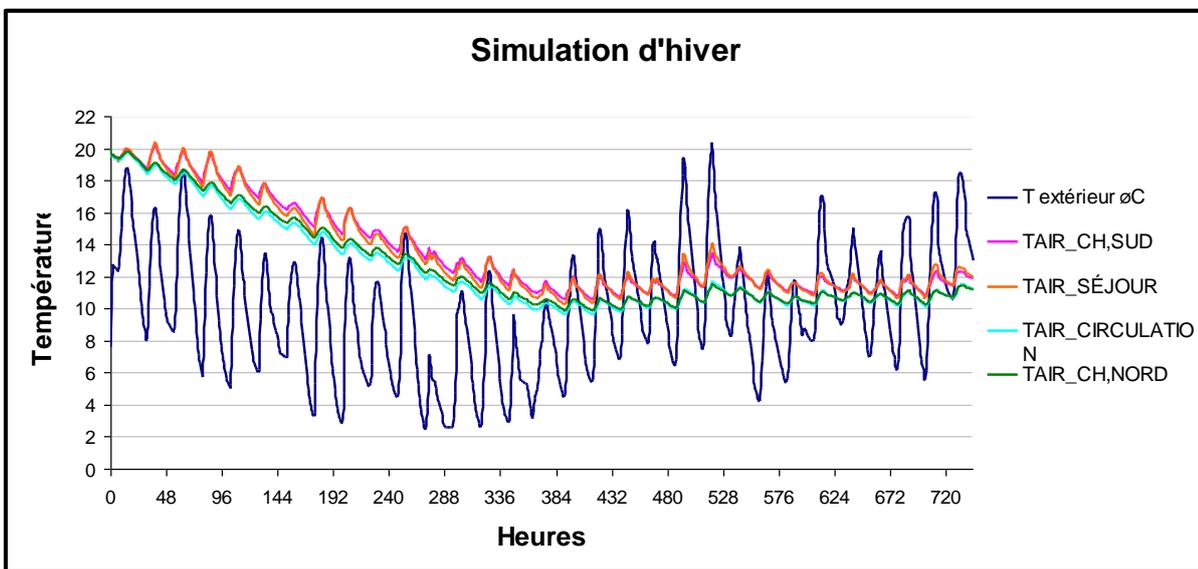


Figure 148: Simulation d'hiver du modèle (C3). Source auteur

La simulation d'hiver montre que l'isolation par l'extérieur est un moyen efficace pour assurer une augmentation des températures intérieures par rapport les deux variantes précédentes. Des valeurs minimales de 10°C présentent une amélioration par rapport à l'isolation intermédiaire en 2°C. Cela est lié à la présence de l'inertie thermique qui permet l'accumulation de la chaleur journalière pour la restituer durant les heures les plus froides.

En été :

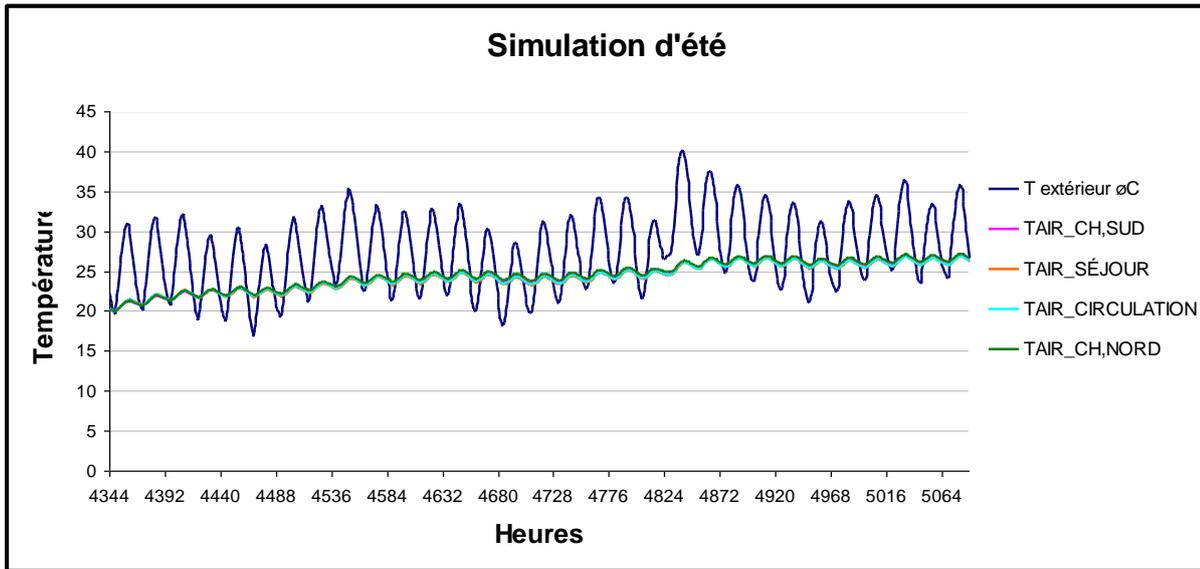


Figure 149: Simulation d'été du modèle (C3). Source auteur.

La simulation estivale indique des valeurs de température basse par rapport à l'extérieur allant de 20°C à 27°C. Cela est expliqué par l'utilisation de l'isolation thermique extérieure qui empêche les déperditions thermiques et conserve la fraîcheur intérieure.

L'isolation par l'extérieur est une solution efficace en été comme en hiver dont elle permet de profiter des bienfaits de la masse thermique avec celle de l'isolation en même temps.

VI. 3. 3. 4. L'inertie thermique : C4 (voir annexe pour les propriétés des parois).

La variante d'inertie thermique est représentée par une paroi pleine en béton plein de 40 cm. Par les deux simulations estivale et hivernale, il s'agit d'étudier l'influence de l'inertie thermique sur la qualité des ambiances intérieures.

Simulation d'hiver

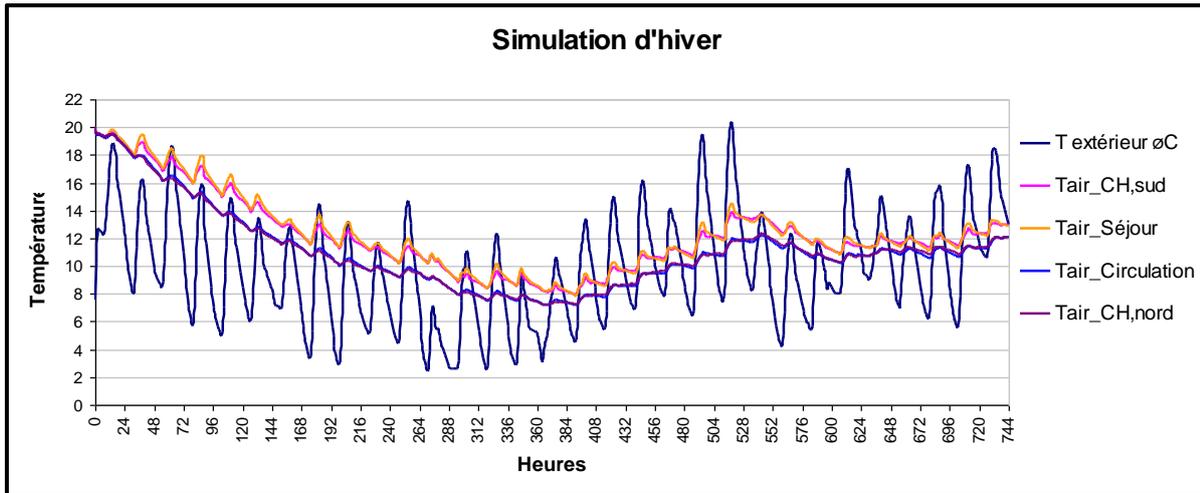
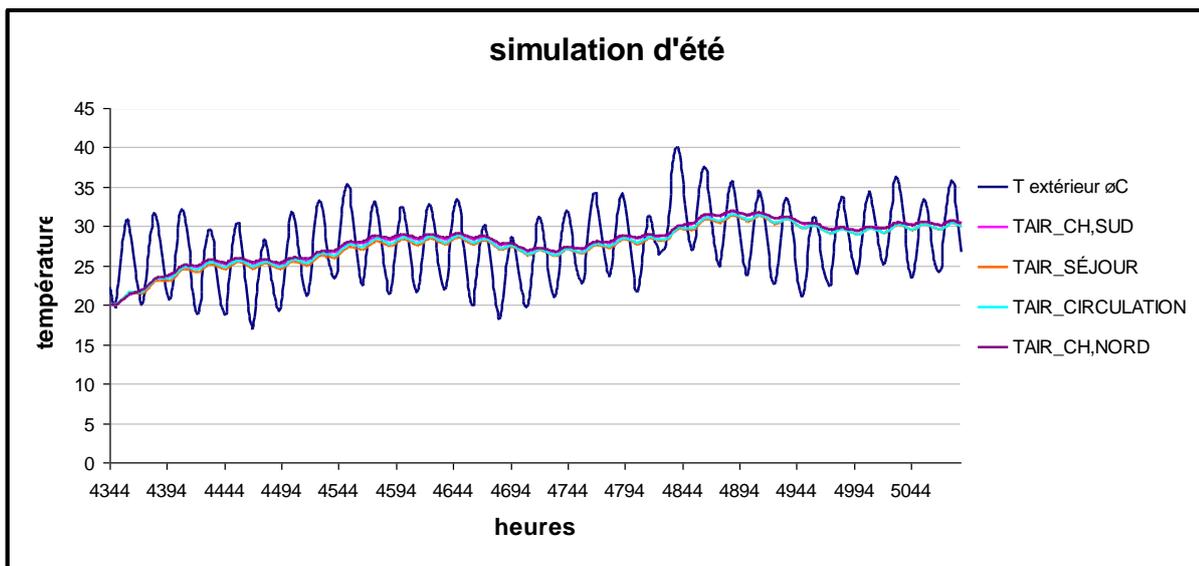


Figure 150: Simulation d'hiver du modèle (C4). Source auteur

Le graphe de la simulation d'hiver indique des valeurs entre 7.25°C et 20°C pour la chambre nord et la circulation. La température est de 8°C à 20°C pour la chambre sud et le séjour. Cette différence entre les espaces du nord et ceux situant au sud est expliquée par la pénétration des rayons solaires à travers les ouvertures du sud. Une accumulation de chaleur est liée à l'utilisation des parois lourdes en béton plein.

L'inertie thermique seule avec 40cm en béton plein n'a pas assuré le confort nécessaire des espaces intérieurs avec une valeur de température minimale de 7.25°C. Cela est dû aux déperditions thermiques.

Simulation d'été



La simulation estivale montre des espaces intérieurs avec des températures allant de 20°C à 31°C. La différence entre le jour et la nuit est moins de 1°C. Cela est expliqué par l'accumulation de la

chaleur journalière pour la restituer durant la nuit. L'absence de l'isolation a provoqué une augmentation de la température intérieure par rapport aux variantes précédentes.

Cette situation thermique est loin d'être confortable donc il s'agit de passer vers l'ajout d'une isolation extérieure à cette paroi.

VI. 3. 3. 5. L'inertie thermique + l'isolation thermique : (voir annexe pour les propriétés des parois).

Cette variante de troisième cas consiste à utiliser l'inertie thermique avec une isolation extérieure pour l'enveloppe.

Simulation d'hiver

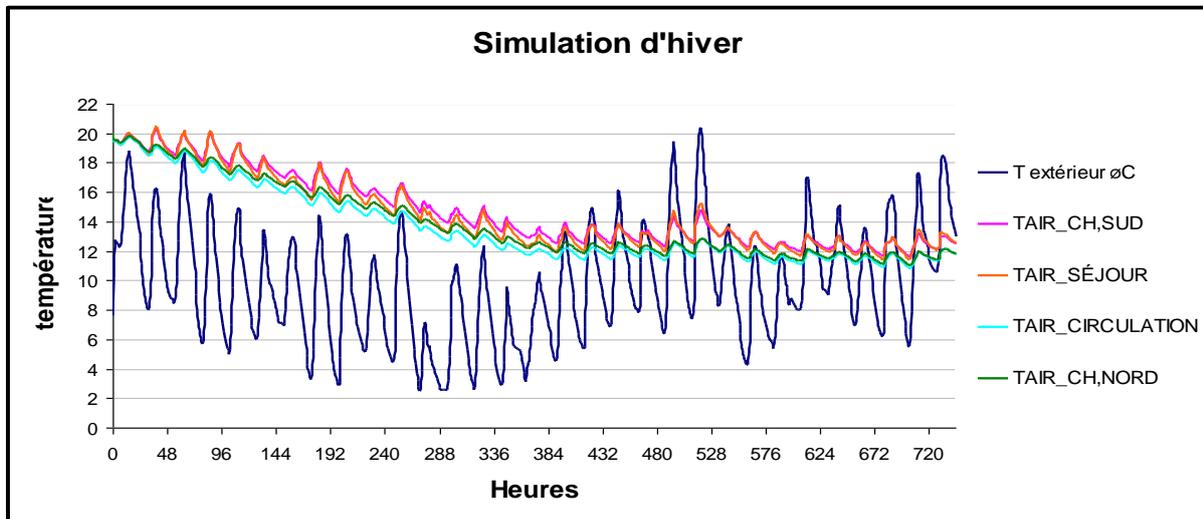


Figure 152: simulation d'hiver du modèle (C5). Source auteur

Le résultat de la simulation d'hiver indique une amélioration au niveau des températures intérieures ou les valeurs minimales dépassent les 11°C avec une priorité aux espaces situant au sud. La différence entre jour et nuit est toujours minimale suite à la grande inertie thermique.

Cette augmentation de la chaleur est liée à l'épaisseur d'isolant qui conserve les calories thermiques accumulées dans la masse thermique.

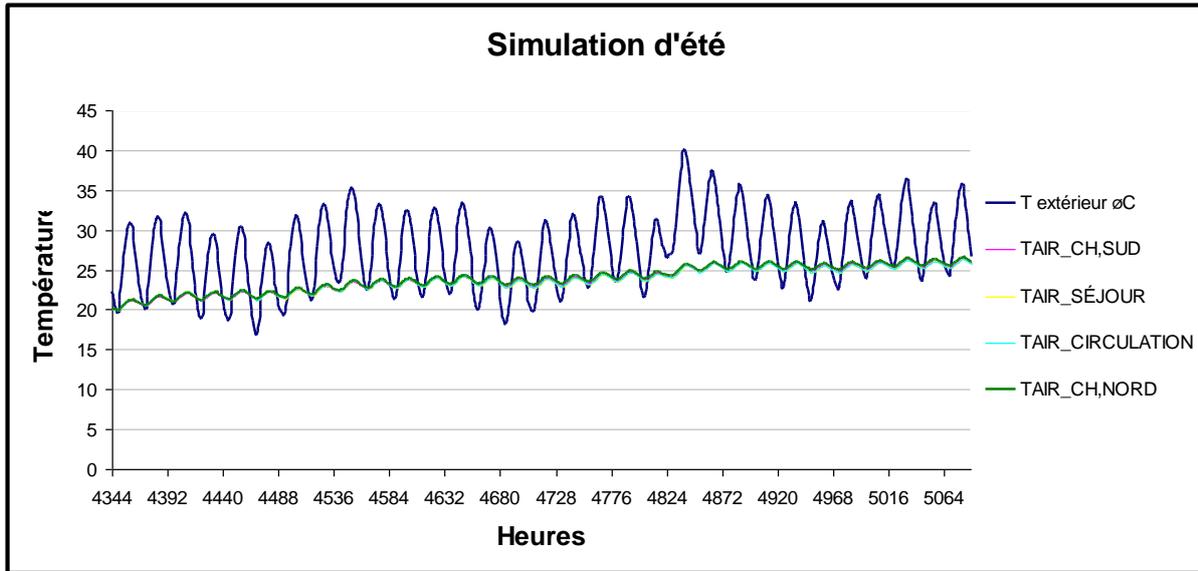


Figure 153: Simulation d'été du modèle (C5). Source auteur.

Pour la simulation estivale, les valeurs de température sont très douces et rapproche de la température du confort thermique (26°C). Les espaces d'appartement présentent des valeurs entre 20°C et 26°C. Cela est expliqué par une atténuation des fluctuations extérieures liées à la masse thermique avec une conservation de la fraîcheur suite à l'utilisation de l'isolation. Cette situation du confort annule le besoin en climatisation mécanique.

On peut dire que cette disposition est la meilleure pour une enveloppe thermique afin d'assurer l'amélioration des ambiances intérieures en économisant la facture énergétique.

VI. 4. La consommation énergétique :

VI. 4. 1. Pour le chauffage

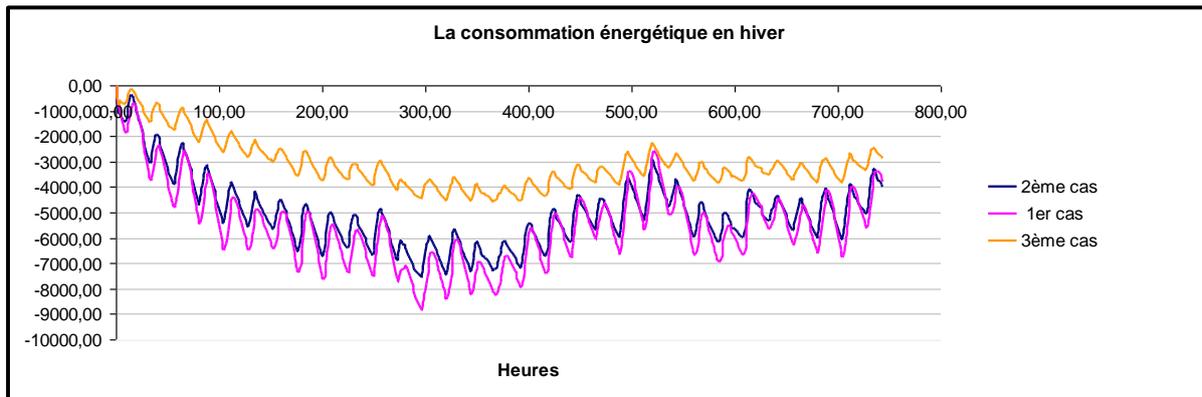


Figure 154: la consommation énergétique des trois cas en hiver. Source auteur

La quantité d'énergie consommée durant le mois de janvier varie entre les trois cas. La consommation énergétique du premier cas est de 4112948,83. Le deuxième cas est de 3769075,30 et le troisième cas présenté par le cas (C1) est de 2329982,65.

Le modèle HPE assure des économies sur la facture du chauffage arrivant à plus de 9% par rapport au logement ordinaire en Algérie. En passant vers l'échantillon (C1), l'économie énergétique devient 43%.

VI. 4. 2. Pour la climatisation

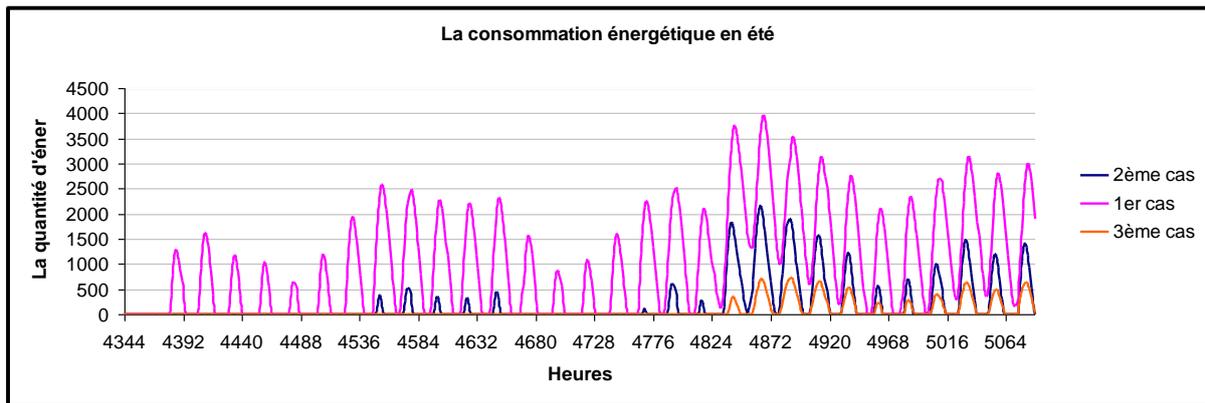


Figure 155: la consommation énergétique des trois cas en été. Source auteur.

En visant le graphe représentant la consommation énergétique de la climatisation, les quantités d'énergie sont variables selon le cas. Le modèle A est caractérisé par une consommation de 750473,60. Pour le modèle (B), la quantité d'énergie est de 146348,53. Le modèle (C1) consomme 48387,01 durant le mois du Juillet.

Les économies énergétiques arrivent à 80% pour le modèle HPE par rapport un logement ordinaire. Bien que l'amélioration effectuée en modèle (C1) apporte 93% des économies sur la facture énergétique.

Conclusion

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

Le logement ordinaire en Algérie est inconfortable et provoque une consommation énergétique intensive. Cela est dû aux défauts de réalisation qui augmentent les déperditions thermiques en été comme en hiver.

En passant vers le modèle HPE réalisé par l'OPGI de Blida, la simulation montre une insuffisance des solutions proposées pour assurer le confort hivernale. La surface réduite des ouvertures du sud et la faible masse thermique d'enveloppe avec l'utilisation du simple vitrage sont les principaux éléments responsables sur l'inconfort en hiver dont il n'assure que 9% des économies de chauffage par rapport un logement ordinaire en Algérie.

Bien qu'en été, la protection thermique des ouvertures avec l'utilisation de la charpente en bois ont amélioré la situation thermique en effectuant 80% des économies sur la consommation énergétique liée à la climatisation mécanique.

Enfin, notre proposition consiste à améliorer les points faibles d'HPE. Il s'agit d'augmenter l'épaisseur d'isolant en remplaçant la brique creuse avec celle pleine et l'utilisation du double vitrage. Cela a provoqué une amélioration des ambiances intérieures en assurant 43% des économies sur le chauffage en hiver par rapport un logement ordinaire. En été, cette économie augmente pour devenir 93% pour la climatisation mécanique.

Les modifications apportées au modèle (C) indiquent que les meilleures conditions thermiques sont obtenues lors de l'utilisation d'une grande inertie thermique avec une épaisseur suffisante de l'isolation thermique du côté extérieur de la paroi.

Conclusion générale.

VII. 1. Conclusion

Dans un monde où les besoins énergétiques augmentent jour après jour en utilisant des sources épuisables, c'est le temps de prendre conscience de la manière la plus efficace d'améliorer les ambiances intérieures en réduisant les impacts énergétiques et environnementaux liés à une forte consommation d'énergie.

En Algérie, le secteur résidentiel est le plus consommateur d'énergie par rapport aux autres secteurs suite à l'occupation continue du foyer. Cela va augmenter les besoins énergétiques en améliorant les ambiances intérieures afin de corriger les défauts d'étanchéité liée à la conception et à la réalisation des constructions. Donc, une conception architecturale bioclimatique peut améliorer la situation énergétique de ce secteur.

Dans ce cadre, l'État algérien a lancé une expérience pilote avec un programme de 600 logements à haute performance énergétique (HPE). Les 80 logements d'OPGI de Blida présentent le cas d'étude de ce travail de recherche. L'objectif posé au préalable était d'évaluer les solutions proposées par le concepteur de ce projet en termes du confort thermique et de consommation énergétique.

Le présent travail a été entamé par une recherche bibliographique sur la conception bioclimatique, l'isolation et l'inertie thermique, le confort thermique et l'expérience algérienne dans le domaine de haute performance énergétique. C'est la partie théorique. Une autre partie, pratique, est composée par deux chapitres où le premier présentait le cas d'étude et la méthodologie de recherche. Bien que le deuxième était la simulation thermique et l'interprétation des résultats.

Le premier chapitre avait pour objectif de démontrer l'importance des stratégies hivernale et estivale bioclimatique afin d'intégrer une construction dans son environnement climatique en assurant l'épanouissement moral et physique de l'individu. Le deuxième chapitre présentait l'influence de l'inertie thermique sur l'amélioration des ambiances intérieures en passant par la présentation des caractéristiques physiques des matériaux de construction. L'isolation thermique avec les différents types d'isolants était une autre partie de ce chapitre.

Le troisième chapitre abordait les paramètres du confort thermique en étudiant les différentes manières d'évaluation de ce dernier. Bien que le dernier chapitre de la partie théorique présentait l'expérience nationale dans le domaine de haute performance énergétique en commençant par la consommation énergétique, les différentes expériences dans ce domaine avec les acteurs majeurs et l'état juridique de l'efficacité énergétique.

Conclusion générale.

La partie pratique tendait d'arriver aux objectifs posés au préalable en termes du confort thermique et de la quantité d'énergie consommée. En commençant par une présentation du cas d'étude et de la méthodologie de recherche, une étude bioclimatique a été effectuée pour faire ressortir les recommandations de conception dans le climat de Blida. Enfin c'est la simulation thermique par le biais d'un logiciel TRNSYS qu'une comparaison entre trois échantillons a pu être réalisée. Le premier cas concerne les logements ordinaires sur l'échelle nationale. Le deuxième cas présentait les logements en HPE. Bien que le dernier cas était amélioré en cinq variantes afin d'arriver au confort souhaité en hiver comme en été.

Les modifications apportées au troisième cas ont été faites suivant les hypothèses posées au début de ce mémoire en s'appuyant sur l'inertie et l'isolation thermique sans prendre en considération les gains internes. L'intégration des systèmes du chauffage et de climatisation sont pour évaluer la quantité d'énergie consommée pour les trois cas.

Les résultats obtenus lors de l'investigation, en hiver comme en été, sont pour évaluer les températures intérieures des espaces simulés par rapport à celle du confort thermique. Une simulation hivernale présentée par le mois de janvier montre un inconfort fatal des logements ordinaires où la température descend à 5°C. Cette température augmente un peu pour le modèle HPE. L'amélioration du troisième cas en augmentant l'épaisseur d'isolant, l'utilisation des matériaux de construction en grande inertie thermique et le remplacement d'un simple vitrage avec un double.

Les variantes du troisième cas ont montrés que la meilleure disposition, pour un confort thermique optimal en hiver avec une économie d'énergie, est celle liée à l'utilisation d'une grande masse thermique avec une isolation du côté extérieur.

La simulation estivale a montré une bonne amélioration au niveau du modèle en HPE par rapport au celui ordinaire vu la présence des éléments nécessaires au confort d'été. Il s'agit, en premier lieu, d'une protection solaire horizontale avec une protection mobile des ouvertures. D'un autre côté, c'est la toiture en pente qui permet la protection du plafond des rayons solaires directs. Enfin, l'isolation thermique assure la conservation de la fraîcheur.

L'amélioration du troisième cas minimise encore les températures maximales dont la meilleure proposition est celle caractérisée par une grande inertie thermique avec une isolation extérieure. Ce cas de figure permet d'assurer le confort estival sans avoir besoin d'une climatisation mécanique, cependant, un chauffage d'appoint est nécessaire en hiver.

Conclusion générale.

La consommation énergétique est un autre facteur à évaluer. L'échantillon d'un logement ordinaire est le plus consommateur d'énergie en hiver comme en été. En hiver, le modèle HPE n'assure que 9% des économies énergétique par rapport au logement ordinaire. Bien que cette économie arrive à 50% pour l'amélioration en modèle (C). En été, l'appartement en HPE minimise la consommation énergétique par 80% bien que le modèle amélioré assure plus de 93% des économies énergétiques.

Pour évaluer l'expérience nationale dans le domaine de haute performance énergétique, on peut dire que les solutions proposées dans le modèle HPE de Blida restent à développer en termes de confort hivernal, alors que le confort estival est presque atteint.

Le présent travail est une procédure qui vise à démontrer l'influence d'une conception judicieuse des constructions en termes d'efficacité énergétique au départ. Cela va améliorer les ambiances intérieures thermiquement en limitant la surconsommation énergétique liée à un surdimensionnement des appareils du chauffage et de climatisation.

VII. 2. Les recommandations

Selon les résultats obtenus lors de la simulation thermique, il s'agit de prendre en considération, lors de la conception, les recommandations suivantes :

En hiver :

Afin d'assurer le confort hivernal, il s'agit d'assurer le maximum d'ensoleillement tout en protégeant l'intérieure des déperditions thermiques. Cela nécessite :

Une orientation adéquate des ouvertures vers le sud qui est le meilleur pour assurer un ensoleillement passif.

L'utilisation d'un double vitrage pour éviter les déperditions thermiques.

L'augmentation de la surface vitrée pour permettre la pénétration des rayons solaires directs.

L'utilisation d'une grande masse thermique afin de conserver la chaleur absorbée durant une journée ensoleillée pour la restituer une fois les températures baissent.

Une isolation extérieure des quatre façades sans oublier les deux planchers haut et bas pour mettre en valeur l'inertie thermique.

En été :

La stratégie du froid en été consiste à éviter la pénétration des rayons solaires au maximum tout en conservant la fraîcheur à l'intérieur. Donc le confort estival nécessite :

Une protection solaire par une simple avancée de la toiture qui est efficace pour la façade sud avec des protections mobiles des ouvertures.

L'utilisation d'un toit en pente va protéger le plafond des rayons solaires directs dont le comble va jouer le rôle d'un espace tampon.

Une ventilation nocturne pour dissiper la chaleur accumulée dans la masse thermique d'enveloppe durant la journée.

Les recommandations présentées au-dessus sont adéquates pour le climat de Blida. D'autres climats nécessitent d'autres recommandations de conception.

VII. 3. Les axes de recherche

Le sujet d'évaluation du confort thermique et de consommation énergétique est très vaste et nécessite plein d'autres recherches afin d'apporter des réponses à des questions actuellement sans réponses. Il s'agit de proposer des axes de recherches futures :

Notre cas d'étude concerne un climat tempéré humide de type méditerranéen. En passant vers d'autres climats, les résultats vont sûrement être différents. Ce changement va aboutir à d'autres recommandations. L'investigation en simulation thermique de ce mémoire a pris en considération quelques variétés. Le changement des variables va aboutir à des résultats différents. Donc d'autres sujets de recherche vont apparaître.

L'influence des gains internes sur le confort thermique en précisant le rôle des occupants et en intégrant un confort adaptatif dans l'amélioration des ambiances intérieures.

L'effet de choix du type des matériaux de construction et des isolants thermiques sur l'évaluation du confort thermique et de la consommation énergétique. L'intégration d'un ou plus des énergies renouvelables avec un système de ventilation peut influencer l'état du confort thermique.

Bibliographie

Livres

Alexandroff, G. et J. M. « Architectures et climats ; Soleil et énergies naturelles dans l'habitat », édition Berger-Levrault, Paris. 1982.

Bernstein, D. Chamietier, J. P. et Vidal, T. « Anatomie de l'enveloppe des bâtiments, constructions et enveloppes lourdes », Edition le moniteur, Paris. 1997.

Buland, F. « Concevoir une maison bioclimatique », édition Source d'or, Clermont-Ferrand. 2010.

Chelghoum, Z. « Notion de confort et données de base pour un habitat intégré au climat », imprimerie université Mentouri Constantine. 2006 - 2007.

Cabirol, T. et Roux, D. « Chauffage de l'habitat et énergie solaire ; 2. Chauffage solaire de l'habitat », édition Edisud. Aix-en-Provence. 1984.

CNERIB, document technique réglementaire (DTR C3-2), « Règlementation thermique des bâtiments d'habitation ; règle de calcul des déperditions calorifiques », Alger. 1998.

CNERIB, document technique réglementaire (DTR C3-4), « Règle de calcul des apports calorifiques des bâtiments », fascicule 2, Alger. 2005.

Courgey, S. et Oliva, J-P. « La conception bioclimatique des maisons confortables et économes », Edition Terre vivante, Paris. 2006 - 2007.

CRAU (Centre de recherche en architecture et en urbanisme el Harrache) en collaboration avec **l'université des nations unis UNU**, « Village solaire intégré », édition OPU, Alger. 1983.

De Haut, P. « Chauffage, isolation, et ventilation écologique », édition Eyrolle, Paris. 2011.

Dumitriu – Valger, E. « Isolation thermique des constructions en Algérie », Entreprise national du livre (ENAL), Alger. 1986.

Dutreix, A. « Bioclimatisme et performances énergétiques des bâtiments », Edition Eyrolles environnement, Paris. 2010.

Fernandez, P. et Lavigne, P. « Concevoir des bâtiments bioclimatiques, Fondement et méthodes », Edition le moniteur, Paris. 2009.

Gallauziaux, T. et Fedullo D. « Le grand livre d'isolation », Edition Eyrolles, Paris. 2010.

- Garnier, A.** « Le bâtiment à énergie positive ; comment maîtriser l'énergie dans l'habitat », édition Eyrolle, Paris.
- Givoni, B.** « L'homme, l'architecture et le climat », Edition le moniteur, Paris. 1978.
- Gonzalo, R. et al** « Architecture et efficacité énergétique ; principes de conception et de construction », Edition Boston, Berlin. 2006.
- Guerriat, A.** « Maison passives ; principes et réalisations », édition L'inédite, Paris. 2008.
- Guindani, S. et Doepper, U.** « Architecture vernaculaire ; territoire, habitat et actives productives », Editions Presses polytechniques et universitaires Romandes, Lausanne. 1990.
- Hegger, M. Tomas, S. Fuchs, M. et Zeumer, M.** « Construction et énergie », Editions Presses polytechniques et universitaires Romandes, Lausane. 2011.
- Herzog, B.** « Le puits canadien », Edition Eyrolles environnement, Paris. 2010.
- Izard, J. L.** « Architecture d'été ; construire pour le confort d'été », édition Edisud. Aix-en-Provence 2008.
- Le Goaring, P.** « L'isolation bio de la maison ancienne, chantiers et pratiques C », Edition Eyrolles, Paris. 2009.
- Liébard, A. et De Herde, A.** « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique ; concevoir, édifier et aménager avec le développement durable », Edition le moniteur, Paris. 2005.
- Mazria, E.** « Le guide de la maison solaire », Edition Parenthèse, France. 2005.
- Molle, D. et Patry, P.** « Rt 2012 et Rt existant, réglementation thermique et efficacité énergétique », Edition Eyrolles environnement, Paris. 2011.
- Oliva, J-P.** « L'isolation écologique, conception, matériaux et mise en œuvre », Edition Terre vivante, Paris. 2007.
- Roulet, A. C.** « Eco-confort pour une maison saine et à basse consommation d'énergie », presses polytechniques et universitaires romandes, Suisse, 2004.
- Roulet, A. C.** « Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments ». Presses polytechniques et universitaires romandes. Suisse .2004.

Watson, D. et Camous, R. « L'habitat bioclimatique de la conception à la construction », édition l'Étincelle. 1983.

Thèses et mémoires :

Barroso-Krause, C. « La climatisation naturelle, modélisation des objets architecturaux, aide à la conception en climat tropical », thèse du doctorat, l'école des mines, Paris. 1995.

Bellara, S. « Impact de l'orientation sur le confort thermique intérieur dans l'habitation collective ; cas de la nouvelle ville Ali Mendjeli Constantine. », mémoire du magister, université Mentouri, Constantine. 2004- 2005.

Benhalilou, K. « Impact de la végétation grimpante sur le confort hygrothermique estival du bâtiment ; cas du climat semi-aride », mémoire du magister, université Mentouri, Constantine. 2008.

Benhouhou, M. « L'impact des matériaux sur le confort thermique dans les zones semi-arides ; cas d'étude, la ville de Djelfa », mémoire du magister, l'EPAU, Alger. 2012.

Benlatreche T. « Effets thermo-radiatifs et caractérisation microclimatique des cours intérieures dans les édifices publics », mémoire du magister, université Mentouri, Constantine. 2006.

Bessalchi, S. « Evaluation de la consommation énergétique et du confort dans les salles des classes préparatoires à l'EPAU », mémoire du master, l'EPAU, Alger. 2013.

Bouamama, W. « Au sujet de la politique d'efficacité énergétique en Algérie : Approche systémique pour un développement durable ; cas de programme Eco-Bat », mémoire du magister, département de génie civil, université d'Abou Bakr Belkaid Telemcen. 2013.

Chabane, L. « Contribution méthodologique à la définition d'une procédure d'Audit énergétique dans l'habitat en Algérie », mémoire du magister, l'EPAU, Alger. 2010.

Chafi, F. Z. « développement d'un modèle zonale pour la simulation thermo-aérolitique des bâtiments multizones, Ecole des technologies supérieure, Université du Québec. 2010.

Gallissot, « Modéliser le concept du confort dans l'habitat intelligent », l'université de grenoble, France. 2012.

Gacem, M. « Comparaison entre l'isolation thermique extérieure et intérieure d'une pièce d'un habitat situé dans le site de Ghardaia », mémoire de magister, Université Abou-Bakr Belkaid, Tlemcen. 2010-2011.

Hamouda, A. « étude de la performance thermique et la consommation énergétique d'un bâtiment préfabriqué à Biskra », mémoire du magister, université du Biskra. 1996.

Harraoubia, I. « La qualité du logement social en Algérie, regard sur les ouvrages du gros œuvres », mémoire du master, école nationale supérieure d'architecture, Marseille. 2011.

Khelifi, L. « Contribution méthodologique à la conception bioclimatique en architecture », mémoire du magister, l'EPAU, Alger. 2006.

Mazari, M. « Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public, cas du département d'architecture de Tamda (Tizi-Ouzou) », Université Tizi-Ouzou. 2012.

Medjelekh, D. « Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment ; cas de l'habitation de l'époque coloniale à Guelma », mémoire du magister, université Mentouri, Constantine. 2006.

Moujalled, B. « Modélisation dynamique du confort thermique », thèse du doctorat, l'institut des sciences appliquées de Lyon, France. 2007.

Semahi, S. « Contribution méthodologique à la conception des logements à haute performance énergétique (HPE) en Algérie ; développement d'une approche de conception dans les zones arides et semi-arides », mémoire du magister, l'EPAU, Alger. 2013.

Thiers, S. « Bilans énergétiques et environnementaux de bâtiment à énergie positive », thèse du doctorat, l'école des mines, Paris. 2008.

Articles publiés, cours et documents techniques

ADEME et Grenelle environnement, « Objectif 2020 : bâtiment à énergie positive ». 2009.

ANRH, « les données météorologiques mensuelles et journalière de la ville de Blida », Soumaa, Blida.

APRUE et MEM, « Consommation énergétique finale de l'Algérie », APRUE, Alger, 2014.

- Avems**, « Guide de la ventilation naturelle et hybride, conception, dimensionnement, mise en œuvre et maintenance » . 2010.
- Belakehal, A.** « confort et maîtrise des ambiances », département d'architecture de l'université de Biskra, 2012. Disponible sur www.univ-biskra.dz .
- Belmaaziz, M.** « Le confort thermique et stratégies thermiques des êtres humains », 2011- 2012.
- Benoudjfer, et al** « Etude comparative relative à l'efficacité énergétique de deux appartements situés à Bechar, Algérie », revue des énergies renouvelables, volume 15, N° 1, Alger. 2012.
- Boucheneb Dj.** « Programme de l'efficacité énergétique en Algérie », 7^{ème} salon international des énergies renouvelable, des énergies conventionnelles de l'efficacité énergétique, de l'électrotechnique, de l'automatisation et de l'éclairage, Alger. 2013.
- Bouzeriba, M.** « Economie d'énergie des programmes arrivées à maturité », la lettre des APRUE N°14/ Avril 2009, Bulletin des énergies renouvelables semestriel N° 15 – 16, Alger. 2009.
- Cantin R. et al**, « Complexité du confort thermique dans les bâtiments », 6^{ème} congrès Européen de science des systèmes Paris. 2005
- Charbonneau, J-Y.** « Confort thermique à l'intérieur d'un établissement », CSST. 2004.
- Chenak, A.** « Efficacité énergétique dans le bâtiment ; projet pilote Med-Enec », revue des énergies renouvelables, Bulletin semestriel N° 15 – 16, Alger. 2009.
- Dali, K.** « Mécanisme de financement de la maîtrise de l'énergie en Algérie », Tunis. 2012.
- Derradji, L. et al** « Etude de l'efficacité énergétique d'une maison économique en Algérie », 2^{ème} congrès de l'association marocaine de thermique, Casablanca. 2012.
- Derradji, L. et al** « Etude expérimentale du comportement thermique d'une maison prototype en Algérie », congrès français de thermique, Bordeaux. 2012.
- Derradji, L. et al** « Etude expérimentale du comportement thermique d'une maison rurale à faible consommation d'énergie », 15^{ème} journées internationales de thermique, Tlemcen. 2011.
- Deval, J-C.** « Le confort thermique en climat tempéré », revue phys. Appl N° 19, laboratoire d'Eco thermique solaire CNRS, France. 1984.

Djeradi, M. A. « Architecture ksourienne (Algérie) entre signe et signifiant », l'architecture vernaculaire Tome 36-37. 2012.

Fragos, M. et Trouillez « Le guide de l'isolation ; Mieux comprendre pour bien choisir », Edition Comprendre choisir.com, Paris. 2012. Téléchargeable du site www.comprendrechoisir.com consulté le 13. 05. 2014

Hamel, K. « Confort thermique », cours en ligne, département d'architecture de l'université de Biskra. 2012. Consulté du site www.univ-biskra.dz en juin 2014.

Heintz, J. « Les puits canadiens / provençaux », Veilleur banne cedex, France. 2008 du site www.cetiat.fr .

Imsaad, K. « renforcement des capacités dans le domaine de l'efficacité énergétique du bâtiment », N° 21, Alger. 2011.

Journal Officiel de République Algérienne démocratique et populaire du 28 juillet 1999, « Loi n°99-09 relative à la maîtrise de l'énergie ».

Journal Officiel de République Algérienne démocratique et populaire du 30 Avril 2000, « Décret exécutif n°2000-90 du 24 Avril 2000 portant réglementation thermique dans les bâtiments neufs ».

Maouj, Y. « La recherche & le développement dans le domaine de l'efficacité énergétique ; état des lieux et perspectives dans le bâtiment en Algérie », CNERIB.

Mazouz, S. « Confort thermique », 1^{ère} année poste-graduation cour, département d'architecture de l'université de Biskra.

Mazouz, S. « Confort thermique et construction en climat chaud », Laboratoire de conception et de modélisation des formes architecturales et urbaines (LACOMFA), département d'architecture de l'université de Biskra. 2012.

MEM et APRUE, « Recueil de textes législatifs et réglementaires sur la maîtrise de l'énergie », 2010.

MEM, « Bilan énergétique national de l'année 2013 », téléchargé du site www.mem.org.dz 2014 consulté le 3. 3. 2015.

Meritet, S. « l'état énergétique du monde », Pour la science, dossier n° 69. 2010.

Ministère de l'énergie et des mines (MEM), « Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique ». 2011.

Mulé, M. « Ventilation naturelle dans l'habitat », l'école nationale supérieure d'architecture de Lyon. 2011.

OPGI Blida, « Avant projet 80/ 600 logements à haute performance énergétique à Ain Romana, Blida », par cabinet d'architecture DAR, Rekia Zouhir.

Potin, A. et al, « Le chauffage solaire passif comme stratégie bioclimatique », GRAP, Ecole d'architecture, Université Laval, Esquisse, Le bulletin d'information de l'ordre des architectes du Québec, volume 15, numéro 1, 2004.

Raoust, M. et al, «Ventilation naturelle et ventilation mécanique dans les bâtiments à haute qualité environnementale », guide ICEB- ARENE, Institut pour la conception environnementale du bâti.

Semmar, D. et al, « Simulation d'un plancher chauffant solaire d'un habitat », 16^{ème} journées internationales de thermiques, Marrakech. 2013.

Teller, J. «Notions de confort thermique », université de Liège, de site www.lemma.ulg.ac.be.

Vitte, T. et al, « Etude d'un bâtiment basse énergie ; développement et application du principe du rafraîchissement solaire », institut national des sciences appliqués de Lyon (INSA),

Sites Internet :

dpa-distribution.fr

fr.wikipedia.org

fr.solarpedia.net

Grenelle environnement, « les certifications et les labels énergétiques », www.developpement-durable.gouv.fr.

isolation.maison-materiaux.com/

infos.trouver-un-logement-neuf.com

Le Guay M. sur le site edu.scol.education.fr

« 404 pages pour tout faire », guide des matériaux, disponible sur le site www.toutfaire.com .2012.

www.aprue.org.dz consulté le 23. 02. 2015.

www.asso-iceb.org

www.iso-exterieure.fr/

www.leblogdubatiment.com

www.mcr06.com

www.protection-securite-alarme.com/

www.symbiose-nature-bois.fr/

Annexe

1. Les composants des parois du modèle A.

Les composants des parois de ce logement sont présentés dans le tableau suivant :

Échantillon (Logement ordinaire)	A	Composition	L'épaisseur (m)	U (W/m ² .K)
Plancher haut		Polystyrène	0.05	2.633
		Béton plein	0.04	
		Hourdis	0.16	
		Enduit en plâtre	0.02	
Plancher courant		Carrelage	0.02	2.395
		Mortier + sable	0.03	
		Béton plein	0.04	
		Hourdis	0.16	
Mur intérieur		Enduit en plâtre	0.02	2.069
		Brique creuse	0.10	
		Enduit en plâtre	0.02	
Mur extérieur		Enduit en plâtre	0.02	0.634
		Brique creuse	0.10	
		Lame d'air	0.05	
		Brique creuse	0.15	
		Enduit extérieur	0.02	
Le type du vitrage		Simple vitrage	/	5.74
		Menuiserie en		
		Bois		
Les infiltrations		0.7		

Tableau 8: les propriétés thermiques des parois du premier cas (A)

2. Les composants des parois du modèle B.

Échantillon (HPE)	B	Composition	L'épaisseur (m)	U (W/m ² .K)
Plancher haut		La laine de verre	0.05	0.681
		Un faux plafond en plâtre.	0.05	
Plancher courant		Carrelage	0.02	2.395
		Mortier + sable	0.03	
		Béton plein	0.04	
		Hourdis	0.16	
Mur intérieur		Enduit en plâtre	0.02	2.069
		Brique creuse		
		Enduit en plâtre	0.10	
Mur extérieur		Enduit en plâtre	0.02	0.495
		Brique creuse		
		Polystyrène	0.10	
		Brique creuse	0.05	
		Enduit extérieur	0.15	
			0.02	
Le type du vitrage		Simple vitrage	/	5.74
		Menuiserie en PVC		
Les infiltrations		0.6		

Tableau 9: les propriétés thermiques des parois du deuxième cas (B)

3. Les composants des parois du modèle C1.

Échantillon (HPE amélioré)	C1	Composition	L'épaisseur (m)	U (W/m ² .K)
Plancher haut		La laine de verre	0.20	0.191
		Béton plein	0.10	
		Un faux plafond en plâtre.	0.05	
Plancher courant		Carreaux de liège	0.02	0.190
		Mortier + sable	0.03	
		Béton plein	0.12	
Mur intérieur		Enduit en plâtre	0.02	2.069
		Brique creuse	0.10	
		Enduit en plâtre	0.02	
Mur extérieur		Enduit en plâtre	0.02	0.179
		Brique pleine	0.15	
		polystyrène	0.20	
		Brique pleine	0.10	
		Enduit extérieur	0.02	
Le type du vitrage		Double vitrage	/	2.95
		Menuiserie en PVC		
Les infiltrations		0.5		

Tableau 10: les propriétés thermiques des parois du troisième cas (C1)

4. Les composants des parois du modèle C2.

Échantillon C2 (HPE amélioré)	Composition	L'épaisseur (m)	U (W/m ² .K)
Plancher haut	La laine de verre	0.20	0.189
	Béton plein	0.20	
	Un faux plafond en plâtre.	0.05	
Plancher courant	Carreaux de liège	0.02	0.190
	Mortier + sable	0.03	
	Béton plein	0.12	
Mur intérieur	Enduit en plâtre	0.02	2.069
	Brique creuse	0.10	
	Enduit en plâtre	0.02	
Mur extérieur	Enduit en plâtre	0.02	0.177
	Brique creuse	0.05	
	polystyrène	0.20	
	Brique pleine	0.20	
	Enduit extérieur	0.02	
Le type du vitrage	Double vitrage	/	2.95
	Menuiserie en PVC		
Les infiltrations	0.5		

Tableau 11: les propriétés thermiques des parois du troisième cas (C2)

5. Les composants des parois du modèle C3.

Échantillon C3 (HPE amélioré)	Composition	L'épaisseur (m)	U (W/m ² .K)
Plancher haut	La laine de verre	0.20	0.189
	Béton plein	0.20	
	Un faux plafond en plâtre.	0.05	
Plancher courant	Carreaux de liège	0.02	0.190
	Mortier + sable	0.03	
	Béton plein	0.12	
Mur intérieur	Enduit en plâtre	0.02	2.069
	Brique creuse	0.10	
	Enduit en plâtre	0.02	
Mur extérieur	Enduit en plâtre	0.02	0.179
	Brique pleine	0.20	
	polystyrène	0.20	
	Brique creuse	0.05	
	Enduit extérieur	0.02	
Le type du vitrage	Double vitrage	/	2.95
	Menuiserie en PVC		
Les infiltrations	0.5		

Tableau 12: les propriétés thermiques des parois du troisième cas (C3)

5. Les composants des parois du modèle C4.

Échantillon C4 (HPE amélioré)	Composition	L'épaisseur (m)	U (W/m ² .K)
Plancher haut	La laine de verre	0.20	0.189
	Béton plein	0.20	
	Un faux plafond en plâtre.	0.05	
Plancher courant	Carreaux de liège	0.02	0.190
	Mortier + sable	0.03	
	Béton plein	0.12	
Mur intérieur	Enduit en plâtre	0.02	2.069
	Brique creuse	0.10	
	Enduit en plâtre	0.02	
Mur extérieur	Enduit en plâtre	0.02	2.115
	Brique pleine	0.40	
	Enduit extérieur	0.02	
Le type du vitrage	Double vitrage Menuiserie en PVC	/	2.95
Les infiltrations	0.5		

Tableau 13: les propriétés thermiques des parois du troisième cas (C4)

6. Les composants des parois du modèle C5.

Echantillon C5 (HPE amélioré)	Composition	L'épaisseur (m)	U (W/m ² .K)
Plancher haut	La laine de verre	0.20	0.189
	Béton plein	0.20	
	Un faux plafond en plâtre.	0.05	
Plancher courant	Carreaux de liège	0.02	0.190
	Mortier + sable	0.03	
	Béton plein	0.12	
Mur intérieur	Enduit en plâtre	0.02	2.069
	Brique creuse	0.10	
	Enduit en plâtre	0.02	
Mur extérieur	Enduit en plâtre	0.02	0.177
	Béton plein	0.40	
	polystyrène	0.20	
	Brique creuse	0.05	
	Enduit extérieur	0.02	
Le type du vitrage	Double vitrage	/	2.95
	Menuiserie en PVC		
Les infiltrations	0.5		

Tableau 14: les propriétés thermiques des parois du troisième cas (C5)