

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE MENTOURI. CONSTANTINE

**FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE, DE LA GEOGRAPHIE ET DE
L' AMENAGEMENT DU TERRITOIRE**

DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

N° d'Ordre.....

N° de Série.....

**MEMOIRE DE DOCTORAT EN SCIENCES
OPTION : ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE**

THEME

**Simulation des paramètres du confort thermique d'hiver en
Algérie**

Présenté par :

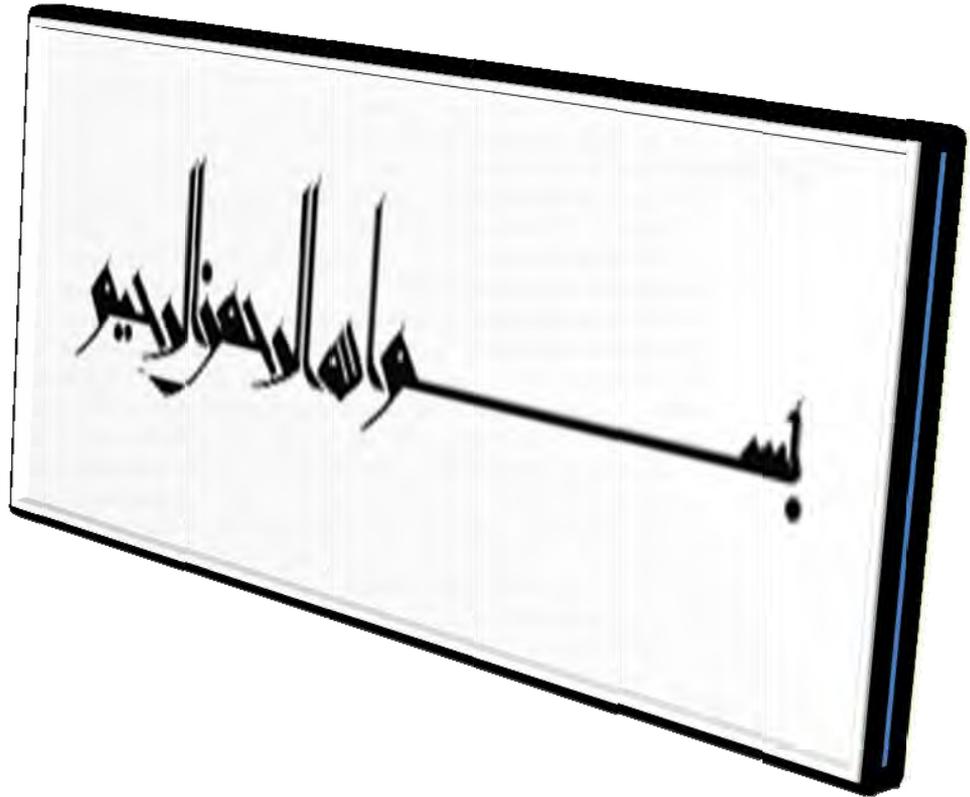
M FOURA SMIR

Sous la direction du :

Pr Zerouala Mohamed Salah

Devant le jury d'examen :

Année Universitaire 2007-2008



Remerciements

En avant propos de ce manuscrit rapportant mon travail de thèse, il me paraît opportun de porter un regard en arrière. Au début de ce que je peux qualifier d'aventure, car échelonnée de nombreux doutes mais aussi de très nombreux moments de joies, il y a eu des personnes qui ont su m'inciter et me soutenir dans cette démarche. Je souhaite les remercier à cette occasion, car sans elles, ce travail n'aurait pu aboutir.

En premier lieu, Je remercie le Professeur ZEROUALA Mohamed Salah de l'Université de Constantine, mon directeur de Thèse, qui depuis le début de ce travail m'a apporté un soutien indispensable et dont j'ai pu apprécier les grandes qualités humaines. Je le remercie, par qui tout a commencé et avec qui nos parcours se sont très souvent croisés. S'il est appréciable de travailler avec des personnes compétentes, cela l'est encore plus avec un ami compétent. Merci Salah pour les moments de soutien et de conseils.

Je remercie également Mr BENHASSINE Tayeb, enseignant au département de génie civil à l'université de Constantine, qui m'a beaucoup aidé dans mon travail. Merci Tayeb, tu as su, par ton enthousiasme et ta compétence, relancer au moment opportun une machine quelquefois essoufflée.

Je remercie aussi Mr SOLTANI Moncef, enseignant thésard à l'institut de génie climatique à l'université de Constantine, pour m'avoir accueilli dans son laboratoire, pour mes premiers pas dans la recherche, et pour accepter d'analyser mon logiciel et le traitement de données.

Je remercie Mr Razik, qui a donné beaucoup d'attention à l'égard du logiciel SimulArch. Ses conseils en matière de programmation dans le langage Delphi, m'ont beaucoup aidé à accomplir ce travail.

J'ai, d'autre part, eu la chance de travailler dans un environnement à la fois convivial et performant. Les personnes rencontrées au cours de ces années ont toutes participées à l'aboutissement de cette thèse. Elles sont nombreuses, et même si elles ne sont pas toutes citées ci-dessus, leur aide fut importante.

A cette occasion, je pense à mes parents qui m'ont toujours soutenu et supporté sans aucune faille depuis toujours. Je remercie Mon Père et Ma Mère (que Dieu les bénissent) pour tout et le reste. Je remercie également ma chère Femme, Ingénieur en génie climatique, pour son aide, son encouragement et son acharnement à accomplir ce travail. Je n'oublierai jamais les sincères appréciations et remarques et surtout les visions globales portées à ce travail par mon ami et frère DJEGHAR Fourad, enseignant de langue Française.

Résumé

En Algérie, un grand nombre de logements ne semblent pas répondre aux exigences du confort thermique et d'économie d'énergie. Cela s'explique par l'absence d'une réglementation spécifique d'une part, par le manque de savoir-faire et une méconnaissance du sujet par les maîtres d'ouvrage. L'amélioration des techniques au niveau des matériaux de construction et d'isolation permet aujourd'hui de réaliser des bâtiments qui rassemblent à la fois les qualités esthétiques et thermiques tout en offrant un cadre de vie plus confortable en étant consommateur de très peu d'énergie. Une méthode de calcul thermique a été développée afin de réduire au minimum le coût d'énergie employée pour chauffer les bâtiments nouveaux ou existants. Les recommandations par le CNERIB soumises pour le climat algérien sont prises comme référence dans le choix du modèle informatique élaboré dans notre étude. Un programme personnel, dénommé "**SimulArch**"¹, qui modélise les différents paramètres extérieurs et intérieurs agissant sur le bâtiment, a été développé essentiellement pour vérifier la base de données de SONELGAZ² en utilisant la simulation thermique des paramètres architecturaux et les facteurs climatiques de la région. Ce programme nous a permis d'atteindre des économies d'énergie allant de 10% à 20% par ménage selon les applications des matériaux de construction préconisés.

Mots clés : énergie, économie d'énergie, Confort thermique, modélisation.

¹ SimulArch : Enregistré à l'office Nationale des droits d'auteurs et droits Voisins (ONDA) – BREVET N° 009/06 du 18/02/2006

² SONELGAZ : Société nationale de l'électricité et du gaz, Algérie

ABSTRACT

In Algeria, a large number of residential constructions do not seem responding to thermal comfort and energy savings needs. This can be explained by the absence of specific thermal regulations for the habitat and, also, by the lack of know-how and an insufficient knowledge on the topic by the builders. The improvement of the techniques permits today to achieve the buildings that gather aesthetic and thermal qualities that offer a setting of more comfortable life at a time, while being a small consumer of energy. A thermal calculation method has been developed in order to reduce to the minimum the cost of energy used to heat the new or existing buildings. The recommendations of the CNERIB developed for the Algerian climate are taken as references in the choice of the computer model elaborated in our study. A personal program, named " **SimulArch**", that models both outside and interior parameters acting on the building, has essentially been developed to verify the data base of SONEGAS while using the thermal simulation of the architectural parameters and the climatic factors of the region. This program has allowed us to reach savings of active energy from 10% to 20% by household depending on the applications of the construction materials recommended.

Keywords: energy saving, thermal Comfort, modelling.

Liste des Abréviations

HT : Transmission par les parois, [W/m²]

H_{DS}: Déperditions surfaciques, [W/m²]

H_{DI}: Déperditions linéiques, [W/m²]

H_{DP} : Déperditions ponctuelles dues aux ponts thermiques, [W/m²]

HU : Transmission par les locaux non chauffés (LNC), [W/m²]

HS : Transmission vers le sol, [W/m²]

HV : Déperditions par renouvellement d'air, [W/m²]

T_i : Température intérieure de base, [°C]

T_e : Température extérieure de base, [°C]

Φ : Flux de chaleur traversant (flux de déperdition à travers la paroi). [W]

U ou K_g: Coefficient de transmission surfacique du flux de chaleur [W /m²°C]

A: Surface de la paroi de transmission du flux. [m²]

D: Indice d'inertie

e_i: Épaisseur de la paroi de transmission. [m]

λ_i : Coefficient de conductivité de la paroi. [W/m²°C]

R_{si}: Résistances superficielles intérieure entre la paroi et l'air. [W/m²°C]

R_{se} : Résistances superficielles extérieur entre la paroi et l'air. [w/m²°C]

U : Coefficient de transmission globale de chaleur, [Wh/m²°C]

Ψ: Déperditions par renouvellement d'air, [W/°C]

0.34 : la chaleur volumique de l'air [Wh/m³°C]

Q_v : le débit spécifique de ventilation, m³/h

Q_{vs}: Le débit supplémentaire par infiltration dues aux vents, m³/h

0.34 Q_v : déperditions dues des dispositifs de ventilation, [W]

0.34 Q_{vs} : représente les déperditions supplémentaires dues au vent, [W/°C]

Ψ : ponts thermiques linéaires ou 2D qui sont caractérisés par un coefficient linéique, $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$.

χ : ponts thermiques ponctuels caractérisés par un coefficient ponctuel, $[\text{W} \cdot \text{K}^{-1}]$.

β : Coefficient de transmission linéique du flux de chaleur, $(\text{w}/\text{m}^\circ\text{C})$

L : longueur du pont thermique, [m]

S : la surface de la paroi considérée, [m]

k : Coefficient de transmission thermique linéique, $[\text{Wh}/\text{m}^\circ\text{C}]$

K_f : Coefficient de transmission thermique de la fenêtre, $[\text{Wh}/\text{m}^2\text{C}]$

Q_{vt} : Apport par vitrage ; par transmission, [W]

E : écart diurne, la différence entre la température maximale à 15H et la température minimale à 4H du matin

Δh : Coefficient donné en fonction de l'heure solaire.

I_G : Intensité du flux global solaire à travers une vitre, $[\text{W}/\text{m}^2]$

I_d : Intensité du flux diffus solaire à travers une vitre, $[\text{W}/\text{m}^2]$

I_D : Flux solaire direct reçu par une surface quelconque, $[\text{W}/\text{m}^2]$

I_d : Flux solaire diffus reçu par une surface quelconque, $[\text{W}/\text{m}^2]$

F : Coefficient de correction en fonction du type de menuiserie

C : Coefficient de correction qui tient compte de la protection solaire

K_1 : coefficient de correction en fonction de l'épaisseur de la vitre

R_i : Résistance thermique des couches de la paroi, $[\text{m}^2\text{C}/\text{w}]$

CP_i : Chaleur massique des couches, $[\text{kcal}/\text{kg}^\circ\text{C}]$

ρ_i : Masse volumique, $[\text{kg}/\text{m}^3]$

DJ : nombre de jours chauffés

Sommaire

REMERCIEMENTS	2
RESUME	4
ABSTRACT	5
LISTE DES ABREVIATIONS	6
SOMMAIRE	8
LISTE DES FIGURES	13
LISTE DES TABLEAUX	17
LISTE DES ANNEXES	19
INTRODUCTION	20
1.0. OBJECTIFS.....	20
2.0. PRESENTATION DES CHAPITRES.....	24
PREMIER CHAPITRE : L'ENERGIE EN ALGERIE	27
1.1. INTRODUCTION A L'ENERGIE	27
1.2. ENJEUX DES ACCORDS DE KYOTO	28
1.3. L'ENERGIE EN ALGERIE	31
DEUXIEME CHAPITRE : L'EXPERIENCE DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE EN ALGERIE	36
2.1. LA CONSOMMATION ENERGETIQUE NATIONALE :	36
2.1.1. <i>Etat comparatif de l'offre et de la demande d'énergie en Algérie</i> :	37
2.1.2 <i>Evolution de consommation nationale énergétique par type d'énergie</i> :	37
2.1.3. <i>Evolution de la consommation par secteur d'activité</i> :	38
2.1.4. <i>Evolution de la consommation par produit énergétique</i> :.....	39
2.1.5. <i>Analyse énergétique de l'offre et la demande en Algérie.</i>	40
2.1.5.1. Le secteur Industriel	41
2.1.5.2. Le secteur résidentiel :.....	42
2.1.5.3. Le secteur Tertiaire.....	43
TROISIEME CHAPITRE : LE CONFORT	46
3.1 INTRODUCTION	46
3.2. ETAT DE L'ART SUR LE CONFORT THERMIQUE.....	47
3.2.1. <i>Approches analytiques (statiques)</i>	47

3.1.2. Facteurs ayant une incidence sur le confort thermique.....	50
3.1.3. Les caractéristiques du bâtiment méditerranéen agissant sur le confort thermique.....	53
QUATRIEME CHAPITRE: LA REGLEMENTATION THERMIQUE DANS LES BATIMENTS.....	59
4.1. INTRODUCTION.....	59
4.2. IMPOSER LA REGLEMENTATION THERMIQUE	60
4.3 PRINCIPES DIRECTEURS D'UNE REGLEMENTATION THERMIQUE.....	61
4.3.1. Premier principe : limiter la consommation globale d'énergie des bâtiments :.....	61
4.3.2. Deuxième principe : Exiger des résultats plutôt que d'imposer des solutions.....	62
4.3.3. Troisième principe : Une progression continue des performances.....	63
4.3.4. Quatrième principe : Des outils de calcul élaborés pour faciliter les optimisations	63
4.4. LA REGLEMENTATION THERMIQUE ALGERIENNE ET LES EXPERIENCES ETRANGERES.....	64
4.4.1. La réglementation française	64
4.4.2. La réglementation Algérienne.....	66
4.4.3. La réglementation libanaise.....	66
4.4.4. La réglementation Américaine.....	67
4.4.5. La réglementation Suédoise.....	68
4.4.6. La réglementation Britannique	68
4.5. UN PROJET EUROPEEN POUR LA COMPARAISON DES REGLEMENTATIONS THERMIQUES EUROPEENNES	69
4.6. LES LABELS.....	70
4.7. LES OUTILS DE LA REGLEMENTATION THERMIQUE.....	71
CINQUIEME CHAPITRE : OUTIL D'AIDE A LA CONCEPTION THERMIQUE DE L'HABITAT	74
5.1 INTRODUCTION.....	74
5.2 CONTEXTES, NOTIONS DE BASE ET OBJECTIVES.....	75
5.3. LA SIMULATION ET ANALYSE DU COMPORTEMENT THERMIQUE DES BATIMENTS.....	78
5.4. ÉTUDE DU COMPORTEMENT THERMIQUE DE BATIMENTS RESIDENTIELS.....	80
5.5. UNE METHODE DE CALCUL SIMPLIFIE DU BILAN THERMIQUE DU MODEL SIMULARCH	83
5.6. ÉVALUATION DU BILAN THERMIQUE	84
SIXIEME CHAPITRE : DEMARCHES DE CONCEPTION DE L'ENVELOPPE D'UN BATIMENT DU POINT DE	
VUE ENERGETIQUE	86
6.1 INTRODUCTION.....	86
6.2. BILAN ENERGETIQUE D'UN BATIMENT DURANT UNE SAISON D'HIVER.....	87
6.3. DEPERDITIONS THERMIQUES D'UN BATIMENT	88
6.3.1. Postes de déperditions	88
6.3.2. Déperditions par transmission H_T	89
6.3.3. Transmission surfacique :.....	90

6.3.4. Déperditions surfaciques HDS	91
6.3.5. Déperditions par renouvellement d'air HV.....	91
6.4 LES PONTS THERMIQUES.	93
6.5. QUELQUES CAS DE PONTS THERMIQUE	95
6.6. LES APPORTS INTERNES.....	100
6.6.1 Les consommations domestiques.....	100
6.6.2 Les gains externes	104
6.6.2.1. L'importance du facteur solaire.....	105
6.6.2.2. Bilan thermique solaire.....	106
6.7. NECESSITE DU CONTROLE DE L'ENSOLEILLEMENT EN ARCHITECTURE	109
6.7.1. Protection Solaire.....	109
6.7.2. Inertie thermique	111
6.7.3. L'isolation thermique.....	114
6.8. RAPPELS THEORIQUES DES PRINCIPES DE LA CONSTRUCTION BIOCLIMATIQUE ALGERIENNE (MEDITERRANEENNE). .	115
6.8.1. Caractériser les isolants	115
6.8.2. Organisation de l'espace intérieur	116
6.8.3. Aménagements extérieurs	117
6.8.4. Conception des bâtiments.....	117
6.8.5. L'implantation du bâtiment.....	118
6.8.6. Orientation du bâti.....	119
6.8.7. Forme, Volumétrie et couleur du bâtiment.....	120
6.8.8. Intérêt des voûtes et coupoles.....	121
6.8.9. Couleur des revêtements extérieurs.....	121
6.8.10. Conception des ouvertures.....	122
6.8.11. Conception de la ventilation naturelle	123
6.8.12. Conception de mur de façade	125
6.9. LES BESOINS EN CHAUFFAGE	126
6.9.1 La méthode de degré jours.....	127

SEPTIEME CHAPITRE : DEVELOPPEMENT D'UN OUTIL D'AIDE A LA CONCEPTION THERMIQUE,

'SIMULARCH'	128
7.1. INTRODUCTION	128
7.2. CONCEPTION DE L'OUTIL.....	130
7.2.1. Caractéristiques principales	132
7.2.2. Modules de fonctionnement de SimulArch	134
7.2.2.1 les paramètres de base de l'environnement	136
7.2.2.2. L'enveloppe du bâtiment.....	137

7.2.2.3. Les ponts thermiques	139
7.2.2.4. Les températures intérieures	141
7.2.2.5. La ventilation	142
7.2.2.6. Les gains internes et solaires	143
7.2.3. Validation de l'outil de simulation 'SimulArch'	151

HUITIEME CHAPITRE : EXPERIMENTATION DES PERFORMANCES THERMIQUES ET ENERGETIQUES SUR UNE CELLULE TEST EN ALGERIE.....153

8.1. INTRODUCTION	153
8.2. DEFINIR LA METHODOLOGIE EXPERIMENTALE	154
8.3. ANALYSE CLIMATIQUE DE CONSTANTINE	155
8.3.1. La température	155
8.3.2. Le rayonnement solaire	157
8.4. DESCRIPTION DU LOGEMENT EN ALGERIE	165
8.4.1. Etude paramétrique de l'espace 'Logement'	165
8.4.2. Les ponts thermiques	169
8.4.3. La présence de l'isolant dans les parois	170
8.4.4. Le zonage thermique	170
8.4.5. Scénario d'occupation	171
8.4.6. Le débit de ventilation	171
8.4.7. Baies vitrées	172
8.4.8 Mode de chauffage	173
8.4.9. La consommation d'énergie dans la cellule TEST	174
8.5. PHASE EXPERIMENTALE : ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS OBTENUS	177
8.5.1. Qualité thermique de l'enveloppe de la cellule test	177
8.5.2. Commentaire sur le comportement thermique de l'appartement F3 simulé : l'Enveloppe... ..	180
8.5.3. Commentaire sur le comportement thermique de l'appartement F3 simulé : Ventilation	181
8.6. CAS D'ETUDES SUR L'INDICE DE PERFORMANCE DE TROIS LOGEMENTS A CONSTANTINE.	187
8.7. CONTROLE DE L'ENSOLEILLEMENT ; GAINS DE CHALEUR	195

CONCLUSIONS GENERALES : RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES DE CONFORT DANS LE LOGEMENT ALGERIEN ET REGLES GENERALES POUR CONCEVOIR LES BATIMENTS EN CORRELATION AVEC LE CLIMAT197

1.0 .LES OBJECTIFS A ATTEINDRE.....	198
2.0. ADOPTER UNE ARCHITECTURE ECOLOGIQUE (CLIMATIQUE).	200
3.0. RECOMMANDATIONS TECHNIQUES POUR UN BATIMENT A FAIBLE CONSOMMATION D'ENERGIES.....	201
3.0.1 L'enveloppe et les techniques passives	202
3.0.2. Rechercher les apports gratuits	204

4.0. REDUIRE LES BESOINS EN ENERGIE DE CHAUFFAGE ET DE CLIMATISATION : CONFORT D'ETE ET CONFORT D'HIVER ..	205
4.0.1 Par la protection solaire/isolation.....	206
4.0.2. Par protection solaire des parois opaques	207
4.0.3. Par l'inertie thermique.	209
4.0.4 Par la ventilation et la protection du vent.....	209
4.0.5. Par l'orientation des locaux.....	210
4.0.6. Par le choix de l'exposition solaire.	210
5.0. DES SOLUTIONS EN PERSPECTIVE POUR LE BATIMENT	211
6.0. LA MODERNISATION DURABLE DES BATIMENTS	214
7.0. LA PREFIGURATION DES BATIMENTS DE DEMAIN DIT A ENERGIE POSITIVE	215
BIBLIOGRAPHIE.....	217
ANNEXE : TABLEAUX	229
ANNEXE : FACTURATION DETAILLEE (SOURCE : SONELGAZ)	251

Liste des figures

FIGURE 1: ETAT COMPARATIF DE L'OFFRE ET LA DEMANDE (SOURCE : ONS-SONELGAZ).....	37
FIGURE 2: EVOLUTION DE LA CONSOMMATION NATIONALE (KTEP). SOURCE : BILAN NATIONAL/MINISTERE DES ENERGIES ET DES MINES.	38
FIGURE 3: EVOLUTION DE LA CONSOMMATION PAR SECTEUR (KTEP). SOURCE : BILAN NATIONAL/MINISTERE DES ENERGIES ET DES MINES.	39
FIGURE 4: EVOLUTION DE LA CONSOMMATION PAR PRODUIT (KTEP). SOURCE : BILAN NATIONAL/MINISTERE DES ENERGIES ET DES MINES.	40
FIGURE 5 : REPARTITION DES CONSOMMATIONS D'ENERGIE PAR BRANCHE INDUSTRIELLE. ALGERIE – 1999 SOURCE : APRUE	41
FIGURE 6: REPARTITION DES CONSOMMATIONS D'ENERGIE PAR USAGE DANS L'INDUSTRIE ALGERIENNE. 1999 - ESTIMATION : APRUE.....	42
FIGURE 7 : REPARTITION DES CONSOMMATIONS TERTIAIRE PAR BRANCHE EN ALGERIE. 1999 – TOTAL : 685 KTEP	43
FIGURE 8 : LE CONFORT	52
FIGURE 9 : BILAN THERMIQUE D'UN BATIMENT.	88
FIGURE 10: POSTES DE DEPERDITIONS D'UN BATIMENT.....	89
FIGURE 11: VALEURS DE REFERENCE DE U.....	91
FIGURE 12: PRINCIPE DE LA VENTILATION.....	92
FIGURE 13: PONTS THERMIQUES	94
FIGURE 14: COEFFICIENT DE LA LIAISON ENTRE UN MUR A ISOLATION REPARTIE ET UNE MENUISERIE (ANNEXE TABLEAU) .	96
FIGURE 15: COEFFICIENT K D'UN ANGLE SAILLANT DE DEUX MURS IDENTIQUES A ISOLATION REPARTIE.(ANNEXE TABLEAU)	97
FIGURE 16: COEFFICIENT K DE LA LIAISON D'UN PLANCHER HAUT A ISOLATION EXTERIEURE AVEC UN MUR (ANNEXE TABLEAU).....	97
FIGURE 17: COEFFICIENT K DE LA LIAISON D'UN MUR A ISOLATION REPARTIE AVEC UN REFEND OU UN PLANCHER ANNEXE TABLEAU).....	98
FIGURE 18: COEFFICIENT K DE LA LIAISON D'UN MUR A ISOLATION REPARTIE	98
FIGURE 19: COEFFICIENT K DES PLANCHERS BAS SUR TERRE-PLEIN OU ENTERRES	99
FIGURE 20: COEFFICIENT K DES MURS ENTERRES	99
FIGURE 21: COEFFICIENT K DE LA LIAISON D'UN PLANCHER HAUT A ISOLATION EXTERIEUR AVEC UN MUR.....	100
FIGURE 22: APRUE, 1999 ALGERIE	101
FIGURE 23: CONSOMMATION ANNUELLE MOYENNE DES APPAREILS ELECTROMENAGERS.....	104
FIGURE 24 COMPOSONS DU RAYONNEMENT SOLAIRE	111

FIGURE 25: PRINCIPES DE CONCEPTION BIOCLIMATIQUE	118
FIGURE 26 IMPLANTATION DU BATIMENT	119
FIGURE 27: ORIENTATION DU BATI	120
FIGURE 28: DIAGRAMME RELATIONNEL DES DIFFERENTS MODULES DE SIMULARCH.....	135
FIGURE 29 : LE CHOIX DES PARAMETRES CLIMATIQUES.....	137
FIGURE 30 : LES COMPOSANTS DES PAROIS	138
FIGURE 31 : DISPOSITION DES PAROIS EXTERIEURES	138
FIGURE 32 : LA FORME DE LA PAROI EXTERIEURE	139
FIGURE 33: LES PONTS THERMIQUES	140
FIGURE 34: L'AMBIANCE THERMIQUE A L'INTERIEUR DES ESPACES.....	142
FIGURE 35: RENOUELEMENT DU VOLUME D'AIR DANS LES ESPACES.....	143
FIGURE 36: BIBLIOTHEQUE DE GAINS INTERNES DANS SIMULARCH	144
FIGURE 37: DUREE D'ENSOLEILLEMENT POUR CHAQUE FAÇADE	147
FIGURE 38: LES FLUX SOLAIRES SUR UNE FAÇADE (SUD - EST)	147
FIGURE 39 : ENERGIE PAR ESPACE	148
FIGURE 40 : ENERGIE PAR ETAGE	148
FIGURE 41: ENERGIE TRANSMISE PAR LES VITRES	149
FIGURE 42 : LES GAINS INTERNES	149
FIGURE 43 : ENERGIE GLOBALE DEPENSEE	150
FIGURE 44 : SOURCE ONS.....	156
FIGURE 45: SOURCE ONS	157
FIGURE 46 : INSOLATION EN HEURES ENTRE 1990 ET 2004 – SOURCE ONM – AIN EL BEY – CONSTANTINE	158
FIGURE 47: DUREE D'EXPOSITION AU SOLEIL PENDANT LA JOURNEE DU 15 AOUT 2006 – SOURCE : SIMULARCH	158
FIGURE 48: DUREE D'EXPOSITION AU SOLEIL PENDANT LA JOURNEE DU 21 DECEMBRE 2006 A CONSTANTINE POUR LES DIFFERENTES ORIENTATIONS. (SOURCE DE CALCUL – SIMULARCH)	159
FIGURE 49 COURBE D'EVOLUTION DE L'ENERGIE INCIDENTE SUR UN PLAN VERTICAL (SE) PENDANT LA JOURNEE DU 15 AOUT A CONSTANTINE	161
FIGURE 50 COURBE D'EVOLUTION DE L'ENERGIE INCIDENTE SUR UN PLAN VERTICAL (NE) PENDANT LA JOURNEE DU 15 AOUT A CONSTANTINE	161
FIGURE 51 COURBE D'EVOLUTION DE L'ENERGIE INCIDENTE SUR DIFFERENTES ORIENTATIONS DE PAROIS OPAQUES PENDANT LA JOURNEE DU 15 AOUT A CONSTANTINE	162
FIGURE 52 COURBE D'EVOLUTION DE L'ENERGIE INCIDENTE SUR DIFFERENTES ORIENTATIONS DE VITRAGES PENDANT LA JOURNEE DU 15 AOUT A CONSTANTINE	162
FIGURE 53 INCIDENCES SOLAIRES DU 21 DECEMBRE 2006 (SOURCE SIMULARCH) – FAÇADE NORD – OUEST SOURCE : SIMULARCH.....	163
FIGURE 54 INCIDENCES SOLAIRES DU 21 DECEMBRE 2006 (SOURCE SIMULARCH) – FAÇADE SUD – EST – SOURCE : SIMULARCH.....	164

FIGURE 55 RAYONNEMENT SOLAIRE A TRAVERS LA VITRE (21 DECEMBRE 2006 A CONSTANTINE) SOURCE : SIMULARCH	164
FIGURE 56: LOGEMENTS OCCUPES SELON LE TYPE DE CONSTRUCTION - (R.G.P.H. 1998)	166
FIGURE 57 SECTION D'UN MUR EXTERIEUR D'UN LOGEMENT F3 OU F4 EN ALGERIE	167
FIGURE 58: FAÇADE EST DE L'IMMEUBLE ETUDIE.	169
FIGURE 59 CONFIGURATION DE L'APPARTEMENT ETUDIE.	170
FIGURE 60 FENETRE CONVENTIONNELLE AVEC UN LEGER RETRAIT	173
FIGURE 61 : CHAUFFAGE A GAZ NATUREL D'APPARTEMENT DANS UN LOGEMENT GENERALEMENT DE TYPE F3	174
FIGURE 62: RELEVÉ DE LA CONSOMMATION DU GAZ EN KWH POUR LE CHAUFFAGE DE L'ABONNE DE LA CELLULE TEST – (SOURCE DE DONNEES : SONELGAZ, COMMUNE : 25501 TEE (TOURNEE) 23 – CONSTANTINE)	175
FIGURE 63: CONSOMMATION ELECTRIQUE DE LA CELLULE TEST DE L'ANNEE 2002 A L'ANNEE 2005 SOURCE DE DONNEES : SONELGAZ, COMMUNE : 25501 TEE (TOURNEE) 23 – CONSTANTINE)	175
FIGURE 64 . CONSOMMATION TRIMESTRIELLE POUR UN LOGEMENT AU 20 AOUT POUR 22 ABONNES (SOURCE DE DONNEES : SONELGAZ, COMMUNE 25501 TEE 23)	176
FIGURE 65: ECHANGE THERMIQUE PAR CONVECTION EN FONCTION DE LA POSITION DE LA PAROI	178
FIGURE 66: CALCUL DE K A PARTIR D'UNE BIBLIOTHEQUE DE MATERIAUX	179
FIGURE 67: ETUDE DES PONTS THERMIQUE. CHOIX DES PARAMETRES A PARTIR D'UNE BIBLIOTHEQUE	179
FIGURE 68: PRESENCE OU NON DE L'ISOLANT	179
FIGURE 69: CALCUL DU K GLOBAL DU F3	180
FIGURE 70: RESISTANCE MINIMALE EXIGEE DES MURS EXTERIEURS	180
FIGURE 71: RENOUVELLEMENT D'AIR	182
FIGURE 72: DEPERDITIONS TOTALES DU LOGEMENT	182
FIGURE 73 ENERGIE ESTIMEE AVANT TRANSFORMATION (SIMULARCH)	183
FIGURE 74 ENERGIE ESTIMEE APRES TRANSFORMATION (SIMULARCH)	184
FIGURE 75 ENERGIE ANNUELLE POUR UN LOGEMENT AU 20 AOUT ET LA VARIATION DE CONSOMMATION EN DA POUR 22 ABONNES.	187
FIGURE 76: APPARTEMENTS UNIFAMILIAUX A CONSTANTINE	190
FIGURE 77: CHAHUTAGE DE VARIATIONS DE CONSOMMATION DANS LES MENAGES DES 22 ABONNES A LA CITE DU 20 AOUT 55 (1980) EN 2004	191
FIGURE 78 CHAHUTAGE DE VARIATIONS DE CONSOMMATION D'ENERGIE DANS LES MENAGES DES 79 ABONNES A LA BRECHE (1950) EN 2004,	191
FIGURE 79: CHAHUTAGE DE VARIATIONS DE CONSOMMATION D'ENERGIE DANS LES MENAGES DES 32 ABONNES A BELLE VUE(1960) EN 2004	192
FIGURE 80: ENSOLEILLEMENT A CONSTANTINE, HIVER (SIMULARCH)	196
FIGURE 81: POURCENTAGES INDICATIFS POUR UNE MAISON INDIVIDUELLE NON ISOLEE)	203
FIGURE 82: ENJEUX DE LA PROTECTION FIXES	207
FIGURE 83: IMPORTANCE DE DEPERDITIONS	208

FIGURE 84 : COMBINAISON DE PLUSIEURS ORIENTATIONS	211
FIGURE 85: INCLINAISON DES PAROIS ET LE SENS DE CHALEUR	249
FIGURE 86: AUVENTS	250

Liste des Tableaux

TABLEAU 1: COMPARAISON ENTRE QUELQUES REGLEMENTATIONS.....	73
TABLEAU 2: CONSOMMATION DES USAGES SPECIFIQUES DE L'ELECTRICITE DANS LE SECTEUR RESI- DENTIEL. RESULTATS DES DIFFERENTES CAMPAGNES DE MESURES EUROPEENNES	103
TABLEAU 3: ECART DIURNE A CONSTANTINE (SOURCE SIMULARCH).	108
TABLEAU 4: LES OUVERTURES	123
TABLEAU 5: LA COMPOSITION ET LE COEFFICIENT K (INVERSE DE LA RESISTANCE R) DE CINQ COM POSITIONS DE MURS DIFFERENTES SELON LE MARCHE ALGERIEN DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION.	126
TABLEAU 6: LES DIFFERENTS COMPOSANTS DE LA CONSTRUCTION PRIS EN CHARGE DANS LE CALCUL.....	131
TABLEAU 7 : COMPOSITION D'UN MUR EXTERIEUR CLASSIQUE UTILISE HABITUELLEMENT DANS LES CONSTRUCTIONS	178
TABLEAU 8: TOTAL DES DEPERDITIONS ET GAINS MOYENS EN W/°C DU LOGEMENT ESTIMES APRES SIMULATION DES PARAMETRES DANS SIMULARCH POUR UN LOGEMENT DE TYPE F3	183
TABLEAU 9: REPARTITION DES LOGEMENTS SELON LE STATUT D'OCCUPATION	185
TABLEAU 10: INDICE DE PERFORMANCE THERMIQUE, IP	188
TABLEAU 11: DIFFERENCE DE CONSOMMATION DE RATIOS	190
TABLEAU 12: RECAPITULATION DE DONNEES DES ABONNES (SOURCE : SONELGAZ) – COMMUNE 25501	191
TABLEAU 13: RECAPITULATION DE DONNEES DES ABONNES (SOURCE SONELGAZ) - COMMUNE : 25701.....	192
TABLEAU 14: RECAPITULATION DE DONNEES DES ABONNES (SOURCE : SONELGAZ) COMMUNE 25501.....	193
TABLEAU 15: CONDUCTIBILITE THERMIQUE DES MATERIAUX	229
TABLEAU 16: CONDUCTIBILITE THERMIQUE DES MATERIAUX.....	230
TABLEAU 17: LA CONDUCTIBILITE THERMIQUES DES PIERRES	230
TABLEAU 18: LA CONDUCTIBILITE THERMIQUES DES BETONS	231
TABLEAU 19: LA CONDUCTIBILITE THERMIQUES DES PLATRES	232
TABLEAU 20: LA CONDUCTIBILITE THERMIQUES DES TERRES CUITES.....	232
TABLEAU 21: LA CONDUCTIBILITE THERMIQUES DES SOLS	233
TABLEAU 22: LA CONDUCTIBILITE THERMIQUES DES ISOLANTS	234
TABLEAU 23: LA CONDUCTIBILITE THERMIQUES LA CONDUCTIBILITE THERMIQUES "AUTRES MATE- RIAUX"	234
TABLEAU 24: CARACTERISTIQUES THERMO TECHNIQUES.....	235
TABLEAU 25: CARACTERISTIQUES THERMO TECHNIQUES.....	236
TABLEAU 26: CARACTERISTIQUES THERMO TECHNIQUES.....	237
TABLEAU 27: K DES PORTES ET FENETRES	237
TABLEAU 28: THERMIQUE EN FONCTION DE L'EPaisseur ET LE TYPE DE BLOC CREUX.....	238
TABLEAU 29: RESISTANCE THERMIQUE EN FONCTION DE L'EPaisseur ET LE STYLE DE BRIQUES	238

TABLEAU 30: DEBIT EXTRAIT MINIMAL	239
TABLEAU 31: COEFFICIENT R D'INFILTRATION EN FONCTION DU VOLUME	239
TABLEAU 32: DEBITS EXTRAIT MAXIMA.....	239
TABLEAU 33: CLASSES DE RUGOSITE DU SITE D'IMPLANTATION DU BATIMENT.	240
TABLEAU 34: PERMEABILITE DE LA PAROI.....	240
TABLEAU 35: PONTS THERMIQUE –A-	240
TABLEAU 36: PONTS THERMIQUE –B-	241
TABLEAU 37: PONTS THERMIQUES –C-	241
TABLEAU 38: PONTS THERMIQUE – D-	241
TABLEAU 39: PONTS THERMIQUES –D-.....	241
TABLEAU 40: PONTS THERMIQUES –E-	242
TABLEAU 41: PONTS THERMIQUES –F-	242
TABLEAU 42: PONTS THERMIQUES –G-.....	243
TABLEAU 43: CONDITIONS DU CIEL.....	243
TABLEAU 44: CONDITIONS METEOROLOGIQUES.....	243
TABLEAU 45: L'INERTIE THERMIQUE ET L'INTERMITTENCE DU CHAUFFAGE – K1-.....	244
TABLEAU 46: L'INERTIE THERMIQUE ET L'INTERMITTENCE DU CHAUFFAGE – K2-.....	244
TABLEAU 47: L'INERTIE THERMIQUE ET L'INTERMITTENCE DU CHAUFFAGE – K3	244
TABLEAU 48: L'INERTIE THERMIQUE ET L'INTERMITTENCE DU CHAUFFAGE – K1, K2, K3-	245
TABLEAU 49: COEFFICIENT K DES VITRAGES.....	245
TABLEAU 50: FACTEUR D'ABSORPTION DE LA RADIATION SOLAIRE A DES MATERIAUX	246
TABLEAU 51: CORRECTION EN FONCTION DE LA MENUISERIE	246
TABLEAU 52: COEFFICIENT DE CORRECTION EN FONCTION DES PROTECTIONS SOLAIRES.....	246
TABLEAU 53: L'ANGLE AM ENTRE LA DIRECTION SUD ET LA NORMALE AU PLAN CONSIDERE	247
TABLEAU 54: CONDITION CLIMATIQUE EXTERIEURS DE BASE	247
TABLEAU 55: ECLAIRAGE	248
TABLEAU 56: RESISTANCE THERMIQUE DES BRIQUES CREUSES- M^2C/W	249
TABLEAU 57: FACTEUR DE CONVERSION DU COMBUSTIBLE.....	250

Liste des annexes

ANNEXE : TABLEAUX	229
ANNEXE : FACTURATION DETAILLEE (SOURCE : SONELGAZ)	251

Introduction

1.0. Objectifs

La particularité de l'axe de recherche vise à la création d'outils d'aide à la conception thermique de l'habitat, permettant de fournir à l'ensemble des concepteurs, techniciens et maîtres d'œuvres une vision aussi détaillée que possible des problèmes du comportement thermique de la structure du bâtiment, tant sur le plan scientifique, économique, technique qu'architectural et méthodologique. Ces outils devraient permettre une meilleure utilisation de l'énergie pour le chauffage dans le bâtiment, et plus largement une meilleure conception climatique de l'habitat.

Dans cette recherche, on ne tiendra que la fonction « thermique ». Cependant, il ne faut pas oublier que la conception thermique doit pouvoir s'insérer dans un programme plus large de conception assistée par ordinateur (CAO) intégrant des préoccupations variées propres au bâtiment (fondations, structure, architecture, économie...).

En Algérie, un grand nombre de logements ne semblent pas répondre aux exigences du confort thermique et d'économie d'énergie. Cela s'explique par l'absence d'une réglementation spécifique d'une part, par le manque de savoir-faire et une méconnaissance du sujet par les maîtres d'ouvrage. L'amélioration des techniques au niveau des matériaux de construction et d'isolation permet aujourd'hui de réaliser des bâtiments qui rassemblent à la fois les qualités esthétiques et thermiques, tout en offrant un cadre de vie plus confortable en étant consommateur de très peu d'énergie. Une méthode de calcul thermique a été développée afin de réduire au minimum le coût d'énergie employée pour chauffer les bâtiments nouveaux ou existants. Les recommandations publiées dans les documents techniques réglementaires du ministère de l'habitat, (Ministère de l'habitat, D.T.R C 3-2 et D.T.R C 3-4, 1998) soumises pour le climat algérien sont prises comme référence dans le choix du modèle informatique élaboré dans notre étude. Un programme personnel, dénommé "SimulArch", qui modélise les différents paramètres extérieurs et intérieurs agissant sur le bâtiment, a été déve-

loppé essentiellement pour vérifier la base de données de la Sonelgaz³ en utilisant la simulation thermique des paramètres architecturaux et les facteurs climatiques de la région. Ce programme nous a permis d'atteindre des économies d'énergie allant de 10% à 20% par ménage selon les applications des matériaux de construction préconisés.

Dans la notion de l'habitat et de l'informatique, nous allons parler de la « simulation thermique » qui, contrairement à certaines techniques telles que la mécanique des structures par exemple, la thermique du bâtiment n'a utilisé que très tardivement l'informatique. Ceci s'explique par le faible enjeu que représentait le bâtiment et notamment le confort thermique dans le bâtiment avant la crise de l'énergie ; aujourd'hui, l'insouciance énergétique est révolue.

Cette recherche qui s'inscrit pleinement dans ces missions, a pour objectif d'obtenir un micro climat intérieur confortable tout en optimisant les dépenses d'énergie. Elle repose essentiellement sur la description réelle de la construction actuelle existante à Constantine ainsi que sur le calcul des consommations énergétiques par la méthode de degrés - jours.

L'analyse des paramètres de confort, reportés à l'habitat existant à Constantine (logement social, habitat colonial, maison individuelle) et le traitement de données obtenues de l'entreprise Sonelgaz en matière de niveaux de consommation énergétique a pour objectif de comprendre le comportement thermique de la structure du bâtiment. Le coût dû au chauffage et la climatisation, en plus des améliorations apportées à l'enveloppe du bâtiment en matière d'isolation et d'orientation des façades ont permis à cette étude d'atteindre un seuil d'économie d'énergie par ménage non négligeable

Le programme "SimulArch" développé dans cette thèse, comme outil personnel de calcul, a pour objectif non seulement de vérifier la performance thermique d'un bâtiment quelconque mais surtout de proposer de nouveaux paramètres de confort réduisant ainsi le coût de la facture énergétique et conduisant à un gain financier appréciable pour le pays.

³ SONELGAZ : Société nationale de l'électricité et du gaz, Algérie

Ce programme a pour but de répondre aux nécessités croissantes pour le confort des constructions, réalisées dans les conditions climatiques et économiques de l'Algérie. Il est supposé d'être un instrument de base pour l'activité technique dans le domaine du projet des constructions en ce qui concerne l'isolation thermique.

Le contenu est basé sur les principes des normes actuelles, avec application dans les conditions actuelles et de perspective de l'Algérie y compris les méthodes de calcul modernes. Ainsi, l'un des objectifs primordiaux dans les analyses numériques proposées dans ce modèle informatique qui est d'une grande actualité et d'accrue par rapport aux besoins actuels à l'Algérie ; est l'application de nouveaux matériaux et structures pour adopter les solutions les plus avantageuses du point de vue technique et économique. Parmi les objectifs de la modélisation de l'habitat proposée est de mieux contrôler la relation existante entre le climat et l'habitat dans son ensemble. C'est-à-dire de définir en fonction du climat la forme, les matériaux et l'énergie utile du bâti de manière optimale, sans oublier que l'un des critères essentiels est le critère économique. L'importance technique et économique de ce programme constitue une contribution pour l'accroissement du niveau de la vie humaine en matière de confort en général et des habitations des villes et des villages algériens en particulier.

Etant donné la complexité des éléments intervenant dans la modélisation proposée, le recours à un découpage des actions, dans le sens où sont d'abord étudiés séparément les composants, puis les sous systèmes constitués d'un ensemble de composants, pour arriver à un système proprement dit qui définit le bâtiment. Parallèlement à cette modélisation du bâtiment, il importe de préparer les données météorologiques et climatiques qui permettront de faire fonctionner le bâtiment en liaison avec le climat du site considéré.

La vie quotidienne dans les bâtiments (chauffage, climatisation...) est à l'origine de près de 25% des émissions de gaz à effet de serre. Il apparaît aussi qu'une conception adaptée lors des constructions et la mise en œuvre permet de réduire les factures énergétiques et ainsi de réduire les dépenses par habitant.

Agir sur les bâtiments, c'est donner à tous les Algériens la chance de vivre dans un habitat écologique. C'est pourquoi des mesures seront normalement

mises en place, qui concernent tant les bâtiments existants (plus de 7 millions de logements au 1^{er} janvier 2007) lors de leur réhabilitation que les bâtiments neufs (ONS⁴).

Les bâtiments neufs, qu'il s'agisse de logements ou maisons individuelles doivent respecter une réglementation thermique (RT) exigeante. Pour aller encore plus loin, les objectifs de performance fixés par cette réglementation thermique pour les constructions neuves doivent être renforcés et ensuite révisés avec l'objectif d'une amélioration par rapport aux exigences actuelles.

Notre vie quotidienne dans les bâtiments induit des consommations énergétiques et donc des émissions de gaz à effet de serre très importantes au travers du chauffage, de la climatisation, de la production d'eau chaude, de la cuisson des aliments, et de l'utilisation de l'électricité. La forte croissance de ces consommations est préoccupante, d'autant plus que les choix qui sont réalisés aujourd'hui nous engagent pour la durée de vie des bâtiments c'est-à-dire pour des décennies.

Les logements et les bâtiments tertiaires sont à l'origine d'environ 19% des émissions de CO₂, soit plus de deux tonnes et demi de carbone par an et par Algérien, à quoi il faut ajouter les émissions liées à la production de l'électricité qui y est consommée, comptabilisée dans le secteur « production d'énergie ». Nous y consommons 46 % de l'énergie finale. Le chauffage représente près des 2/3 de ces consommations d'énergie et la majeure partie des émissions de CO₂ en raison du contenu élevé en carbone des combustibles fossiles et de l'électricité. La consommation d'énergie des bâtiments a augmenté de 30% au cours des 30 dernières années du fait de l'accroissement du parc des bâtiments, de l'augmentation du confort et de l'apparition de nouveaux besoins contribuant à une forte augmentation de la consommation d'électricité (électroménager, éclairage, bureautique, climatisation, renouvellement et traitement d'air, cuisson, ...). Surtout que les réalisations de la période 2000/2006 en Algérie ont permis de hisser le taux de pénétration du gaz de 30% à 37%. Le nombre prévisionnel total de clients gaz passera d'environ 2,2 millions en 2006 à 4,5 millions en 2016, avec un taux

⁴ ONS : Office National des Statistiques

d'accroissement annuel moyen de 7,47% et un taux de pénétration égal à 57% à l'horizon 2009.

Ces fortes demandes d'énergie auront un impact néfaste sur l'environnement et le bâtiment en particulier (<http://www.sonelgaz.dz/Plan-national-Gaz>).

Dans certains pays comme l'Allemagne, la Suisse, la France et la Suède une étiquette Energie du bâtiment est rendue obligatoire et intégrée au diagnostic de performance énergétique. Ses classes dépendent de la consommation estimée en KWh/m² ou en grammes de CO₂ du logement. Une réduction de taxe foncière sera rendue possible pour les propriétaires qui amélioreront leur étiquette Energie grâce à des travaux de rénovation.

Le protocole de Kyoto est maintenant ratifié, sous l'égide des Nations-unies. Il oblige les principaux pays industrialisés à réduire les émissions des gaz néfastes pour le climat. Le développement des énergies renouvelables en générale, et de l'énergie solaire thermique en particulier, font partie de ce plan. Le Potentiel d'énergie solaire en Algérie, de par sa situation géographique, dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m² est de l'ordre de 5 KWh (1/2 litre de fuel) sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700KWh/m²/an au Nord et 2263 KWh/m²/an au Sud du pays. (<http://www.sonelgaz.dz/Potentiels-des-Energies>).

2.0. Présentation des chapitres

Le document comporte neuf chapitres. Dans le premier chapitre nous exposons notre problématique et la nécessité de sensibiliser les décideurs, les maîtres d'œuvre et maîtres d'ouvrages en matière de consommation d'énergie dans les bâtiments à caractère résidentiel. Actuellement le monde est penché sur le Grenelle de l'environnement qui vise à économiser plus d'énergie et par conséquent à limiter les émissions des gaz à effet de serre. Le second chapitre aborde la question énergétique en Algérie. La réalisation d'une économie d'énergie est fortement appréciable car l'augmentation du niveau de vie de la population et du

confort qui en découle, ainsi que la modernisation des activités tertiaires nécessitent absolument des actions d'utilisation rationnelle de l'énergie pour freiner la croissance des consommations thermiques dans le résidentiel en particulier. Le troisième chapitre incite sur la notion du confort tel que les habitudes des usagers et les différents composants de la structure qui jouent un très grand rôle pour le contrôle du budget d'énergie dans le ménage. Le chapitre quatre, traite Clairement la question de ce contrôle qui est possible si les accords de Rio et de Kyoto sont respectés. Les gouvernements se sont engagés sur des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre car Les bâtiments résidentiels et tertiaires ont une importance stratégique puisqu'ils contribuent pour plus du quart à la production des gaz à effet de serre; dans certains pays européens comme la France.

Le logement pèse lourd dans le budget des ménages, autant par le prix de la facture d'énergie pour le chauffage ou la climatisation qu'en raison de son coût de fonctionnement.

Quelques efforts de conception peuvent conduire à des économies de charges importantes sur toute la durée de vie du bâtiment, sans pour autant grever le prix à la construction. Pour les Pouvoirs Publics, la réglementation thermique est un outil déterminant pour orienter la profession dans cette direction. L'objectif ultime de la réglementation thermique dans l'habitat est d'approcher et de mieux contrôler la relation existante entre le climat et l'habitat dans son ensemble, c'est-à-dire de définir en fonction du climat la forme, les matériaux et l'énergie utile du bâti de manière optimale, sans oublier que l'un des critères essentiels est le critère économique. Le chapitre 5 montre l'importance de la modélisation et la simulation thermique en raison du coût et des durées expérimentales, qui sont un moyen efficace pour mettre au point et étudier le comportement thermique des bâtiments. Le chapitre 6 a pour objectif d'appréhender la thermique appliquée au bâtiment, c'est-à-dire l'étude de la conception d'une enveloppe d'un bâtiment et ses conséquences sur les performances thermiques de ce bâtiment. Et d'améliorer les conditions de confort de ses utilisateurs tout en consommant le moins d'énergie possible, pour des raisons économiques et environnementales. La théorie de calcul thermique est connue dans la modélisation des bilans ther-

miques du régime permanent. Une proposition du model SimulArch (Première Version non commerciale, 1.0) pour une modélisation thermique du bâtiment est développée dans le chapitre 7. Ce code de calcul (Logiciel), grâce à ses possibilités interactives et à ses modes de traitement, constitue un outil adapté à des utilisations aussi bien dans des structures pédagogiques (formation) que dans la pratique opérationnelle (conception assistée, contrôle thermique du projet).

Le chapitre 8 apporte une contribution à l'état des lieux en matière de confort et de la performance thermique d'un outil de simulation du bâtiment. La cellule test permet de comparer les résultats des simulations à des données collectées auprès de la société nationale du gaz et de l'électricité à Constantine. Les bancs d'essais permettent de faire varier de nombreux paramètres, et ainsi d'étudier la sensibilité de l'outil. Ce type de travail répond aux exigences des utilisateurs qui souhaitent simuler des paramètres architecturaux dans le but de connaître le niveau de performance énergétique d'un bâtiment.

Les résultats que donnera le logiciel proposé (SimulArch) seront étudiés en faisant varier différents paramètres ; l'orientation des fenêtres, la présence d'occultations, la température fixée, la ventilation, l'inertie thermique, les propriétés des murs, les infiltrations d'air et les apports internes de chaleur.

Le dernier chapitre (chapitre 8) donne des recommandations et perspectives de confort dans le logement Algérien et des règles générales pour concevoir les bâtiments en corrélation avec le climat en Algérie.

Le but est de fournir des principes directeurs de conception architecturale et constructive en vue des exigences du confort, tenant compte de la corrélation entre les caractéristiques climatiques en réponse à la performance thermique des bâtiments en Algérie.

Premier Chapitre : L'énergie en Algérie

1.1. Introduction à l'énergie

Les années d'après guerre ont été des années de grande croissance et de forte demande d'énergie. L'Europe est née, au départ, d'une volonté d'organiser sa politique énergétique à partir de ses ressources, ce furent la CECA⁵ (1957) et Euratom⁶ (1957). Cinq décennies plus tard, la dépendance énergétique de l'Europe s'est accrue de manière significative vis à vis du marché extérieur tant par rapport à la RUSSIE pour le gaz que par rapport au Moyen Orient pour le pétrole. Aujourd'hui la demande ne cesse de s'accroître au moment même où les énergies fossiles montrent leurs limites non seulement en Europe mais à l'échelle planétaire. Les remises en question de certains comportements, suite aux décisions de Kyoto concernant les changements climatiques, visent des économies potentielles d'énergie. Mais elles ne remettent pas en cause la croissance elle-même, dont il paraît convenu qu'elle doit continuer. Le débat sur l'énergie se passe comme si la croissance devait se poursuivre et s'étendre aux autres partenaires (Chine – Amérique du Sud et Afrique). Les politiques envisagées au mieux relèvent des changements de comportements mais en aucun cas ne remettent en question la croissance elle-même et le niveau de vie qui en découle. L'opinion selon laquelle nous pourrions diviser par deux nos besoins énergétiques, sans remettre en question notre niveau de vie, arrive opportunément pour nous donner bonne conscience. Il n'est pas dans l'objet de cette présente recherche de se positionner sur cette problématique. Il paraît pourtant important de ne pas l'ignorer.

⁵ CECA : Communauté européenne du Charbon et de l'Acier

⁶ EURATOM : CEEA, ou Communauté européenne de l'énergie atomique

1.2. Enjeux des accords de Kyoto

En décembre (Protocole de Kyoto, 1997), la communauté internationale s'est engagée à lutter contre l'accroissement de l'effet de serre. Cet engagement se traduit, pour les pays industrialisés, par un objectif général de réduction de leurs gaz à effet de serre. Parmi les six gaz à effet de serre pris en compte dans ce protocole, le gaz carbonique CO₂ est le contributeur majeur, à hauteur d'environ 65 %. Il est un gaz fatal de la combustion de tous combustibles fossiles. La combustion de la biomasse est elle aussi génératrice de CO₂, mais on peut considérer que le CO₂ émis est recyclé dans les plantes par le phénomène de photosynthèse. Le secteur du bâtiment est l'un des principaux secteurs de consommation d'énergie et d'émission de CO₂ (données 2001) (Energies & matières premières, 2002). (Bernard, A. 1999).

Dans la construction, la réglementation thermique ainsi que les préoccupations actuelles de qualité environnementale des bâtiments (ADEME, 2002), constituent des cadres de travail pour concevoir des bâtiments à la fois économes en énergie (donc protecteurs de l'environnement) et aussi confortables et sains pour leurs occupants.

Le développement des activités humaines accroît l'effet de serre, avec pour conséquence une augmentation de la température à la surface du globe et un risque d'importants changements climatiques sur la planète. La communauté internationale a pris conscience de l'enjeu et élabore des mesures pour qu'un phénomène physique naturel ne devienne pas un danger potentiel pour la planète. L'effet de serre est en effet un phénomène physique naturel. Présents en petite quantité dans l'atmosphère, certains gaz comme le gaz carbonique ou le méthane retiennent une large part du rayonnement solaire. Ils permettent ainsi le maintien sur terre d'une température moyenne d'environ 15°C. Mais le développement économique, historiquement fondé sur l'utilisation de sources d'énergies fossiles (charbon, pétrole...), a entraîné des émissions croissantes de ce type de gaz, appelés "gaz à effet de serre". Conséquence : la température à la surface du globe augmente de façon très rapide. Depuis le début du XXe siècle, elle s'est accrue de 0,6°C et pourrait prendre de 1,4 à 5,8°C supplémentaires au XXIe siècle.

Cette hausse serait alors beaucoup plus importante que toutes celles survenues au cours des 10 000 dernières années. Ce réchauffement risque à son tour d'entraîner d'importantes modifications climatiques. Il pourrait par exemple rendre plus fréquents les phénomènes météorologiques extrêmes (tempêtes, inondations, canicules). Les faits sont là : la machine climatique se dérègle. (MINEFI, 2002). Des signes alarmants sont apparus. Il semble que l'élévation de la température s'accompagne d'une réduction de 10% de la couverture neigeuse et d'un recul des glaciers de montagne autres que polaires. La superficie de glace de mer a régressé d'environ 15% dans l'hémisphère Nord depuis 1950 et de 40% dans l'Arctique. Ces observations sont les manifestations du dérèglement climatique. Nous avons eu ces dernières années un aperçu des risques que ce dernier fait courir au continent européen. Même s'il est encore impossible de relier scientifiquement phénomènes climatiques extrêmes (tempêtes, pluies torrentielles, canicules...) et dérèglement climatique, les faits illustrent les résultats des projections qui peuvent être faites. (<http://www.ipcc.ch/>), le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat (GIEC).

La ville européenne consomme beaucoup moins d'énergie que la ville des USA, sans que l'on puisse affirmer que la qualité de vie en Europe soit deux fois moindre que celle aux USA. Et il semble bien que les Chinois, qui fabriquent aujourd'hui des villes immenses, soient plutôt sur le modèle américain. Compte-tenu de l'inertie des phénomènes urbains, de la pénurie d'énergie et de la question des gaz à effet de serre (GES), le problème de l'énergie se posera longtemps encore, et il ne faut pas négliger les politiques de long terme. Il en est de même pour la construction. Citons par exemple, le renouvellement du parc, en France est actuellement lent, puisque l'on construit chaque année environ 1% du parc existant, alors que ce chiffre s'élève à 2 ou 3% dans d'autres pays. Il faudra donc 100 ans pour renouveler le parc. Les bâtiments représentent 42 à 43% des consommations d'énergie en France, et 22 à 23 % des émissions de GES, compte-tenu de la part d'électricité nucléaire. Avec les transports, ils arrivent à 70 à 75 % de la consommation d'énergie dans les villes, et les 2/3 des émissions de GES (Alain Maugard, 2006).

La canicule de 2003 qui a marqué tous les esprits, en a donné un exemple. Au sein du GIEC⁷, la communauté scientifique internationale est unanime pour voir dans l'intensification de l'effet de serre un facteur majeur du dérèglement climatique. De plus, le GIEC dispose des éléments scientifiques permettant d'établir la responsabilité de l'activité humaine dans l'intensification de l'effet de serre et donc du changement climatique.

«L'énergie la moins chère est celle qu'on ne dépense pas». Cette formule illustre combien il serait vain de promouvoir des énergies renouvelables si on ne se préoccupe pas d'abord de réduire les consommations. La notion de développement durable peut se définir comme un développement à même de répondre aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins. Ce développement doit être considéré à la lumière de plusieurs constats :

L'augmentation de la demande d'énergie jusqu'en 2050 est évaluable suivant diverses hypothèses, sa répartition géographique connue et les sources énergétiques identifiées. Un ensemble de voies est à explorer pour élaborer des solutions satisfaisantes à des degrés divers. (Les Amis de la Terre, 2006)

Tous ces éléments significatifs renforcent l'urgence de la mise en œuvre de la notion de développement durable dans les activités humaines. La réflexion sur la maîtrise de l'énergie et sur la mise en œuvre d'énergies nouvelles renouvelables doit en permanence tenir compte de la volonté de plafonner puis de réduire la pollution engendrée par l'utilisation de sources énergétiques. (M. Michel TOURMENT, 2006).

En ce qui concerne l'Algérie, cette dernière a ratifié la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques en 1993, et le protocole de Kyoto en 2004. D'après le texte de la Communication Nationale initiale, concernant le projet national intitulé " élaboration de la stratégie et du plan d'action national des changements climatiques ", l'Algérie souscrit pleinement aux engagements que la Convention -cadre stipule pour les pays en développement, notamment en ce qui concerne la stabilisation des émissions de GES. A cet effet, l'ensemble des

⁷ GIEC : Groupe d'experts International sur l'Evolution du Climat

acteurs concernés par les changements climatiques a été associé à l'élaboration de l'inventaire national des émissions de gaz à effet de serre et de la communication nationale initiale. L'Algérie est considérée comme vulnérable aux effets des changements climatiques, elle fait partie des zones arides et semi-arides exposées aux sécheresses chroniques. (La convention cadre des nations unies sur les changements climatiques.).

De plus, l'exploitation importante des hydrocarbures, en Algérie, est responsable en grande partie des émissions de GES. Cependant, la prédominance du gaz naturel dans le bilan énergétique national constitue déjà une mesure d'atténuation des émissions des gaz à effet de serre.

Dans le cadre de la lutte contre les effets néfastes des changements climatiques, du point de vue réglementation, des lois ont été adoptées dans différents secteurs. La loi sur la protection de l'environnement, la loi sur l'énergie, qui vise à contrôler, valoriser et économiser l'énergie, ainsi que deux lois consacrées aux énergies renouvelables, la première portant sur la recherche scientifique et le développement technologique qui donne la priorité aux énergies renouvelables dans le cadre du Plan National de Recherche, et la deuxième sur la maîtrise de l'énergie qui consacre la promotion de l'utilisation des énergies renouvelables. Le plan d'action national relatif aux changements climatiques, qui s'inscrit dans le développement durable, vise à protéger l'environnement et les ressources naturelles. Il s'agit de mettre en œuvre des mesures pour limiter l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre et de polluants qui perturbent le climat. Une production durable des ressources naturelles consiste à appliquer, de façon régulière, une stratégie d'environnement préventive, intégrée aux procédés de production et aux produits, en vue de réduire les risques de vulnérabilité encourus par les ressources naturelles, les écosystèmes et l'environnement et liés aux impacts négatifs des changements climatiques. (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 2001).

1.3. L'énergie en Algérie

L'Algérie, pays producteur et exportateur de pétrole et de gaz a connu une nouvelle politique nationale des hydrocarbures. L'état a permis le financement d'un

vaste programme industriel, social et économique (APRUE)⁸ (de 8.3 MTEP⁹ en 1976, soit 50.49 TEP par habitant, à 25.3 MTEP en 1995, soit 0.89 TEP par habitant).

La forte demande actuelle de consommation énergétique en Algérie est due principalement à l'augmentation du niveau de vie de la population et du confort qui en découle, ainsi qu'à la croissance des activités industrielles. Elle nous interpelle sur la nécessité d'une nouvelle politique énergétique ainsi que de nouveaux comportements des usagers.

Longtemps considéré comme marginale, la consommation nationale d'énergie a pratiquement quintuplé entre 1970 et 1999 passant de 5 millions de tep (tonne équivalent pétrole) à 30 millions de tep

Les prévisions énergétiques établies à l'horizon 2020 montrent que la production d'énergie primaire suffirait à peine à couvrir la demande nationale et les engagements en matière d'exportation.

En effet et durant la saison estivale 2003, l'économie nationale et la collectivité ont subi de sérieuses perturbations en alimentation en énergie. Ces perturbations ont amené le gouvernement à prendre des mesures pour réduire la demande en énergie (APRUE).

Durant ces dernières années, la consommation de l'électricité en Algérie a été en forte progression, notamment dans le secteur résidentiel, à cause de la croissance démographique élevée, l'amélioration du niveau de vie, et le phénomène de l'urbanisation qui est de plus en plus important. Cette tendance est appelée à se poursuivre pour les années à venir, ce qui conduira à des contraintes technico-économiques fortes, en terme d'infrastructures de production et de développement de réseaux de distribution électrique (Ministère d'énergie, Algérie).

Les relations entre la construction et son environnement climatique, en ce qui concerne l'impact des échanges thermiques, ont été particulièrement négligées

⁸ APRUE : Agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'énergie (Algérie)

⁹ MTEP : Méga tonne d'équivalent pétrole énergie dominante. 1 tonne-équivalent-pétrole = 11.626 KWh ; tonne équivalent pétrole, unité de comptage d'énergie, qui permet de comparer le contenu énergétique de mètres-cubes de gaz, de kilowattheures électriques, de stères de bois, etc., à une tonne de pétrole.

en Algérie. Mais, en raison de la crise de l'énergie, elles sont devenues un des principaux sujets de préoccupation des chercheurs dans le domaine de la construction. Aujourd'hui, le comportement des bâtiments du point de vue thermique, en corrélation avec les conditions climatiques et économiques, fait l'objet de nombreuses études et recherches dans tous les pays. Mais, en Algérie, de pareilles études axées sur le climat algérien sont rares.

Il faudra aussi inciter la population, dans son ensemble, à utiliser des équipements énergétiquement performants (éclairage, appareils de chauffage et de climatisation) et, surtout, veiller à la bonne étude et réalisation des bâtiments selon les normes APRUE. Cette agence qui a pour but de redéfinir le modèle national de consommation d'énergie, a pour missions :

- ✓ Le recensement de la consommation d'énergie et son analyse, secteur par secteur tant à l'heure actuelle que dans leurs perspectives d'évolution.
- ✓ L'identification des foyers de gaspillages d'énergie.
- ✓ L'évaluation des gains possibles à réaliser dans chaque secteur et les financements nécessaires.
- ✓ La définition des moyennes pratiques pour la rationalisation de l'utilisation de l'énergie.
- ✓ L'élaboration d'un plan de communication et mise en œuvre d'actions de sensibilisation.

Le secteur d'énergie fonctionne dans son ensemble avec un ratio de l'utilisation des capacités qui fluctuent entre 90% et 99% dans les dernières années. Le niveau maximal est enregistré surtout dans le système de raffinerie, c'est à dire les produits du pétrole ou les combustibles qui occupent la grande partie dans la consommation nationale.

Les relations de la construction avec l'environnement, en ce qui concerne l'impact des échanges thermiques entre le climat et les ambiances intérieures aux constructions ont été particulièrement négligées en Algérie, mais il est devenu en raison de la crise de l'énergie un des principaux thèmes dans le domaine de la construction.

Aujourd'hui, le comportement des bâtiments du point de vue thermique en corrélation avec le climat et les conditions économiques, fait l'objet de nom-

breuses études et recherches dans tous les pays, mais elles ne sont pas axées sur un climat pareil au climat Algérien.

Par ailleurs, le système de consommation avec ses différentes composantes, l'industrie, le tertiaire, le résidentiel et le transport continuent à enregistrer des niveaux de fonctionnement plutôt modestes. Le taux d'utilisation des capacités dans l'industrie ne dépasse pas 44%, le taux d'équipement des ménages a atteint 70%, la part du secteur de transport dans le PIB¹⁰ ne dépasse pas les 14% et la part du secteur des services (tertiaire) ne dépasse pas quant à elle les 32% pour l'année 1999 (APRUE).

Par conséquent, la stratégie du développement socio-économique entamée impliquera à court terme, une forte croissance de la demande en énergie et des besoins de financement d'où la nécessité d'une réorganisation du système de consommation, d'une bonne gestion de la consommation et d'une manière générale, d'une stratégie nationale de maîtrise d'énergie.

On assiste depuis des années à une modification sensible de la structure par produit de la consommation finale en Algérie, les produits pétroliers restent le principal vecteur énergétique. Par contre, l'utilisation de l'électricité et du gaz naturel progresse et se substitue petit à petit au pétrole. Si l'augmentation générale de la consommation finale se rapproche à un taux élevé, cela cache de fortes disparités. Le secteur résidentiel apparaît donc bien comme une cible prioritaire pour la maîtrise de l'énergie.

L'augmentation du niveau de vie de la population et du confort qui en découle, ainsi que la modernisation des activités tertiaires vont se poursuivre, il faut donc l'accompagner en incitant la population mais aussi la branche tertiaire dans son ensemble à utiliser des équipements énergétiquement performants (éclairage, appareils de froid, climatiseurs, etc.).

La recherche et le développement des programmes informatique en raison de la crise d'énergie avaient pour objectif d'optimiser efficacement l'utilisation de l'énergie dans le chauffage du bâtiment. La meilleure manière de réduire la consommation d'énergie dans les constructions est la conception d'une bonne enve-

¹⁰ PIB (Produit Intérieur Brut) – Indicateur Economique.

loppe. Mais ceci, doit se faire dans le cadre d'une politique de réglementations thermiques afin de mieux conserver l'énergie, l'environnement, et surtout le confort des personnes. La responsabilité de l'architecte est non seulement la conception des espaces mais surtout le contrôle de l'ambiance intérieure thermique c'est-à-dire le confort.

Deuxième Chapitre : **L'expérience de la maîtrise de l'énergie en Algérie**

2.1. La consommation énergétique nationale :

L'expérience de la maîtrise de l'énergie de par le monde et les résultats obtenus jusqu'à présent constitue un gage de réussite quant à la perspective de la construction d'une société énergiquement plus efficace. Son impact en tant que l'une des clefs du développement durable est largement reconnu aujourd'hui. En Algérie, c'est en mai 2001 que les travaux de la première conférence nationale sur la maîtrise de l'énergie, organisée dans le cadre des réformes entamées au niveau du secteur de l'énergie, ont donné le coup d'envoi à la mise en œuvre d'une véritable stratégie de la maîtrise de l'énergie adaptée au contexte de l'économie de marché.

En Algérie, le secteur de l'énergie, assure deux fonctions, il s'agit en premier lieu d'approvisionner l'appareil de production socio-économique en énergie pour son fonctionnement et d'assurer son financement en devises, résultats des exportations des produits énergétiques. Au vu du rythme de l'évolution de la consommation et les besoins de plus en plus croissants du financement des programmes de développement socio-économique, un arbitrage entre ces deux fonctions s'avère nécessaire. En effet, à capacité de production fixe, toute augmentation dans le volume des consommations énergétiques implique une diminution dans le volume des exportations et par conséquent une réduction des capacités de financement de l'activité. Si la production a enregistré un taux de croissance de 20% durant la période allant de 1995 à 2000, la consommation quant à elle a enregistré un niveau de croissance de 18% durant la même période avec un taux d'utilisation des capacités qui a atteint les 99% en 1999 (ONS¹¹, 2006)

¹¹ ONS : Office nationale des statistiques, Algérie

2.1.1. Etat comparatif de l'offre et de la demande d'énergie en Algérie :

Le secteur de l'énergie dans sa globalité fonctionne avec un taux d'utilisation maximal. Le niveau maximal est enregistré surtout dans le système de raffinage, c'est à dire les produits pétroliers ou les carburants qui occupent la grande part dans la consommation nationale (Figure 1).

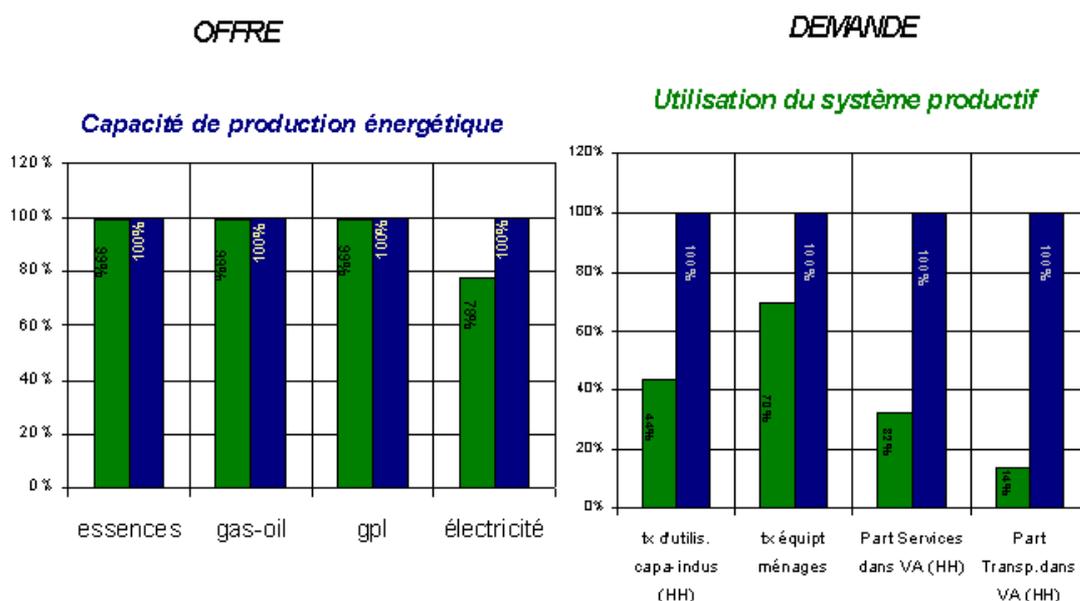


Figure 1: Etat comparatif de l'offre et la demande (Source : ONS-Sonelgaz)

2.1.2 Evolution de consommation nationale énergétique par type d'énergie :

La consommation nationale globale a enregistré une importante évolution entre 1995 et 2000. Elle est passée de 26 millions de TEP à 30 millions de TEP soit une augmentation de 15%. La consommation globale se compose en fait par trois types de consommation, il s'agit de la consommation des industries énergétiques, des industries non énergétiques et de la consommation finale. Pour la même période, la consommation des industries énergétiques est passée de 6808 Milliers de TEP à 7288 Milliers de TEP, soit une augmentation de 7%. La consommation des industries non énergétiques quant à elle est passée de 1589 Milliers de TEP à 1930 Milliers de TEP, soit une augmentation de 21%. La con-

sommission finale est passée de 15746 Milliers de TEP à 18300 Milliers de TEP, soit une augmentation de 16%.

Durant la même période, la part de la consommation finale fluctue entre 59% et 61% de la consommation globale. Vu l'importance qu'elle prend de plus en plus, celle-ci constitue un objectif primordial pour toute initiative allant dans le sens d'une réduction ou d'une rationalisation de la consommation et par conséquent devient l'élément clé de toute stratégie nationale de maîtrise d'énergie. (BOUTERFA Nouredine, 1997), (Figure 2).

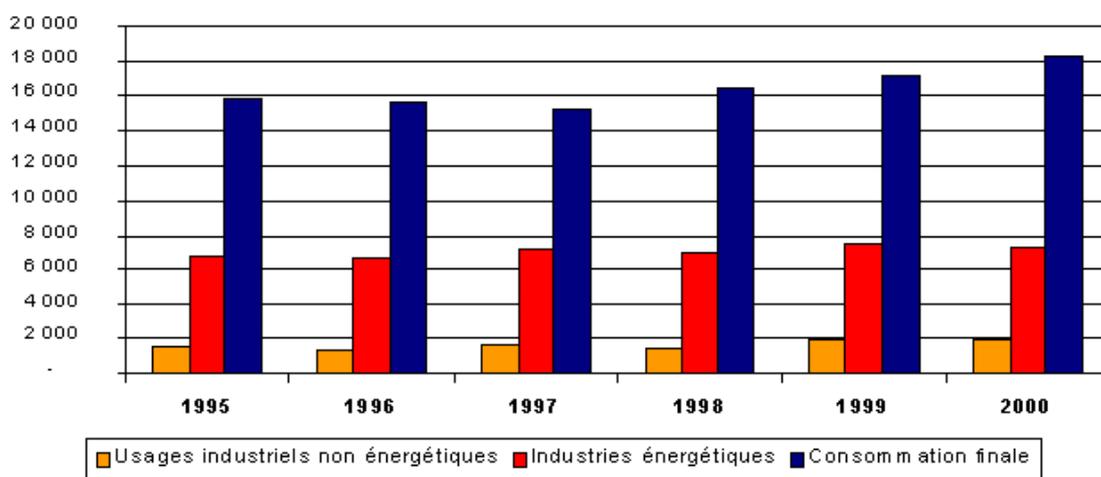


Figure 2: Evolution de la consommation Nationale (Ktep).
Source : Bilan National/Ministère des Energies et des Mines.

2.1.3. Evolution de la consommation par secteur d'activité :

Dans l'élaboration du bilan énergétique, le système de consommation est présenté sous forme de trois secteurs. Il s'agit de l'industrie, des transports et des ménages et autres. Les niveaux de consommation pour chaque secteur sont passés respectivement de 4167 Ktep, 4262 Ktep et 7317 Ktep en 1995 à 4457 Tep, 4654 Tep et 9189 Tep en 1999, soit une augmentation de 7% pour l'industrie, 9% pour le transport et 25% pour les ménages et autres. La part la plus importante de la consommation a été enregistrée dans le secteur des ménages et autres, elle a atteint 46% en 1995 et 50% en 2000. Pour le transport, sa part a régressé de 27% en 1995, elle est passée à 25% en 2000, quant à l'industrie, la consom-

mation est passée de 26% en 1995 à 24% en 2000. La structure de la consommation par secteur d'activité montre qu'en matière d'appréhension et de traitement de la consommation, le secteur des ménages et autres constitue une priorité dans l'élaboration de la stratégie et des programmes de maîtrise d'énergie (Figure 3).

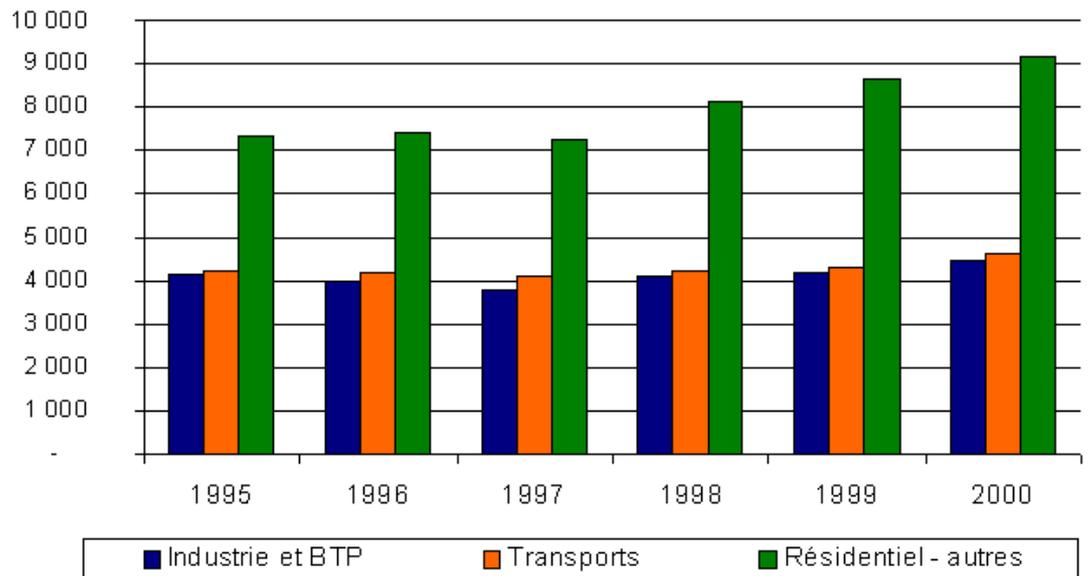


Figure 3: Evolution de la consommation par secteur (ktep). Source : Bilan National/Ministère des Energies et des Mines.

2.1.4. Evolution de la consommation par produit énergétique :

L'analyse de l'évolution de la consommation par produit énergétique montre que l'électricité a enregistré un taux de croissance élevé ; 27% entre l'année 1995 et l'année 2000. Ce qui est expliqué par les efforts d'électrification et l'amélioration du confort des ménages en matière d'équipements et d'appareils. Le gaz naturel et les produits pétroliers ont enregistré des taux de croissance respectifs de 14% et 13%. La part la plus importante dans la consommation revient aux produits pétroliers, elle a atteint 40% durant la période (1995-2000). La consommation d'électricité a progressé de 27% en 1995 pour atteindre 30% en 2000. Pour ce qui concerne les produits pétroliers, il s'agit principalement du Gas-oil, en effet ce produit est utilisé dans des usages multiples et différents et presque dans tous les secteurs d'activités. La structure de la consommation finale par produit énergétique montre que les usages dominants sont plutôt les usages thermiques, la production de chaleur pour l'industrie, le chauffage pour

les ménages, le tertiaire et le transport. A ce stade, une enquête approfondie s'avère nécessaire pour déterminer les différents usages et utilisateurs du Gas-oil afin d'identifier des actions de substitution et de conversion inter - énergétiques. (Kellil Brahim, 2003), (Figure 4: Evolution de la consommation par produit (Ktep).).

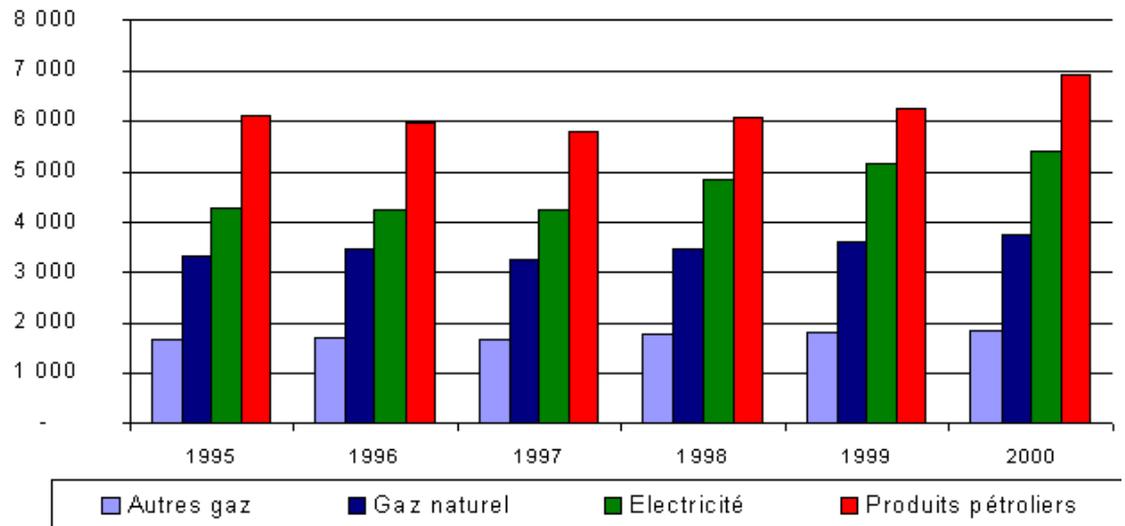


Figure 4: Evolution de la consommation par produit (Ktep).
Source : Bilan National/Ministère des Energies et des Mines.

2.1.5. Analyse énergétique de l'offre et la demande en Algérie.

L'analyse permet d'identifier les activités propices à des actions de maîtrise de l'énergie. Elles devront donc prioritairement se tourner vers ces activités pour qu'elles aient un impact visible sur le bilan énergétique national. Agir dans les autres branches permettra surtout de renforcer la compétitivité économique des entreprises concernées en réduisant les coûts de production. Cette approche est importante pour définir précisément les cibles potentielles présentant un enjeu fort de maîtrise de l'énergie, que ce soit au niveau financier pour l'entreprise (réduction de la facture énergétique) ou que ce soit au niveau de l'intérêt général (réduction substantielle des consommations d'énergie (dans le secteur résidentiel par exemple), d'où la nécessité des audits énergétiques.

2.1.5.1. Le secteur Industriel

L'analyse montre que la branche des matériaux de construction est de loin l'activité industrielle la plus énergétivore avec près de 50% de la consommation énergétique totale industrielle. Ensuite, loin derrière pointe la branche ISMMEE¹² avec près de 18% du total (Figure 5 : Répartition des consommations d'énergie par branche industrielle.).

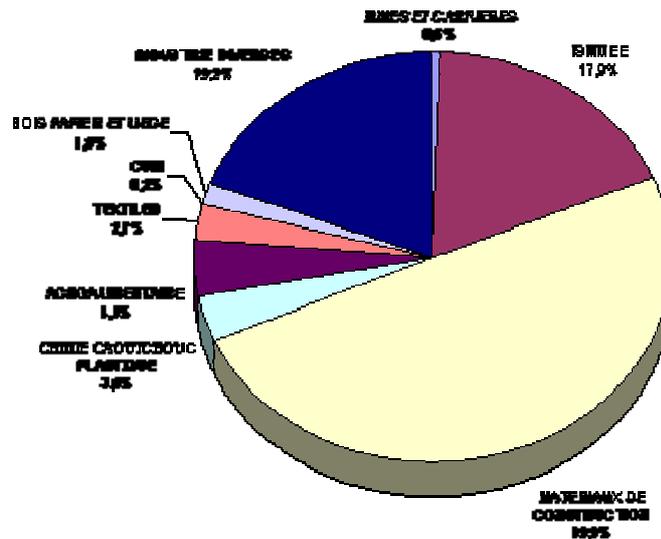


Figure 5 : Répartition des consommations d'énergie par branche industrielle. Algérie – 1999 Source : APRUE

L'analyse par usage permet par contre de donner des enseignements supplémentaires. Le graphique ci-dessous est le résultat d'une estimation réalisée par l'APRUE à partir de l'expérience de ses ingénieurs. Il montre que 77% des consommations énergétiques de l'industrie algérienne sont concentrées dans les processus de fabrication (fours, séchoirs, etc.). Les investissements devront donc se concentrer sur le centre de l'activité des entreprises et donc seront hautement stratégiques. Les audits et les campagnes de mesure poussées devront préparer le terrain (Figure 6: Répartition des consommations d'énergie par usage dans l'industrie).

¹² ISMMEE : Industrie sidérurgique, métallurgique, mécanique, électrique et électronique

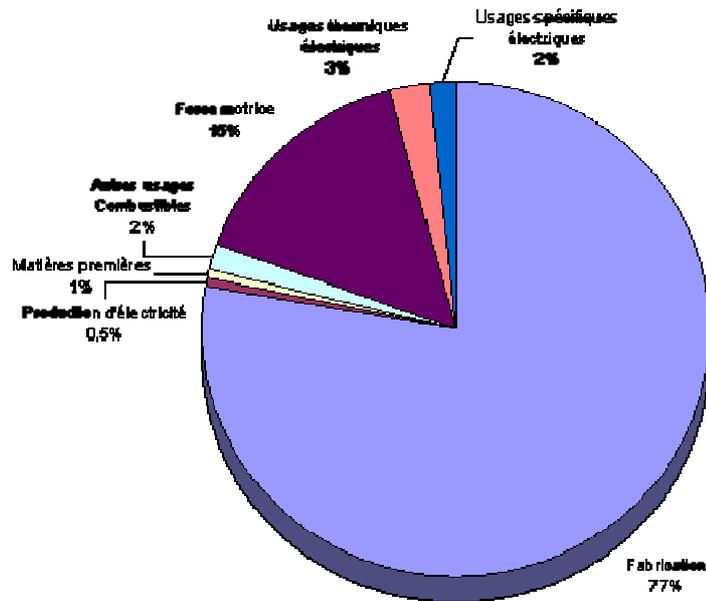


Figure 6: Répartition des consommations d'énergie par usage dans l'industrie Algérienne. 1999 - Estimation : APRUE

2.1.5.2. Le secteur résidentiel :

Pour l'année 1999 par exemple, le secteur représente 32% de la consommation énergétique finale, soit 3881 Ktep (hors charbon). Le produit énergétique le plus utilisé reste encore le butane avec 36% du total consommé. Le gaz naturel vient tout de suite derrière avec 31% des usages. L'extension du réseau de distribution gaz naturel risque fort dans les prochaines années d'inverser la tendance. Il faut noter que l'électricité ne représente que 14% du total consommé, cette part devant fortement croître dans les prochaines années avec l'augmentation des taux d'équipement des ménages en matériels électroménagers. La répartition par usage donne quelques enseignements supplémentaires ; il s'avère que les usages thermiques concernent 86% du total, avec 59% pour la cuisson, 19% pour le chauffage et 8% pour l'eau chaude sanitaire. Il faut donc absolument promouvoir des actions d'utilisation rationnelle de l'énergie pour ces usages pour freiner la croissance des consommations thermiques dans le résidentiel.

2.1.5.3. Le secteur Tertiaire

Le secteur tertiaire ne concerne que 6% de la consommation finale d'énergie en 1999 mais les évolutions des 10 dernières années et l'expérience du développement des pays occidentaux et émergents (avec une tertiairisation du tissu économique) en font un secteur incontournable pour l'avenir. Les énergies de réseau, électricité (46%) et gaz naturel (41%) sont les deux principaux vecteurs énergétiques du secteur tertiaire, les activités tertiaires étant surtout situées dans les zones urbanisées. On peut penser que cette structure restera stable dans les années à venir (Analyse de l'APRUE). L'analyse de la répartition par branche des consommations énergétiques du secteur tertiaire met en avant 4 cibles prioritaires qui totalisent 80% des besoins : le secteur commercial, l'administration, la santé et l'éducation. Dans une moindre mesure, l'éclairage public (avec le développement de l'urbanisation) et le tourisme (ouverture progressive du pays sur ce créneau) peuvent être aussi des cibles intéressantes. L'analyse par usage de l'électricité montre une part prépondérante de l'éclairage et du froid avec au total près de 90% des consommations.

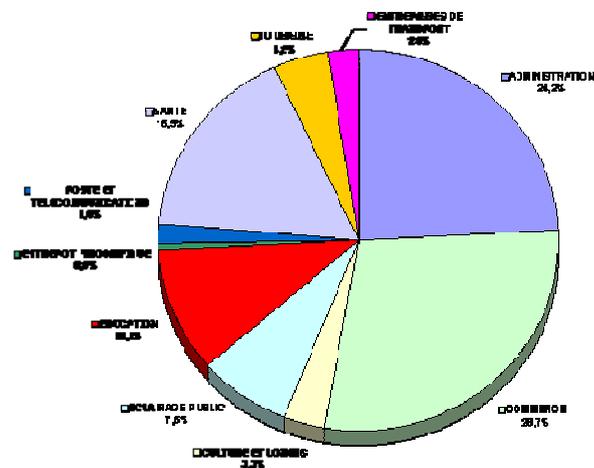


Figure 7 : Répartition des consommations tertiaires par branche en Algérie. 1999 – Total : 685 Ktep

On assiste depuis des années à une modification sensible de la structure par produit de la consommation finale en Algérie, les produits pétroliers restent le principal vecteur énergétique. Par contre, l'utilisation de l'électricité et du gaz

naturel progresse et se substitue petit à petit au pétrole. Le secteur résidentiel apparaît donc bien comme une cible prioritaire pour la maîtrise de l'énergie.

Ces quelques pistes sont un début de réflexion mais, il faudrait une étude détaillée et régionalisée sur le parc résidentiel (type de logement, mode de chauffage, combustibles utilisés) et aussi un traitement spécifique dans le secteur tertiaire pour affiner les recommandations.

Réaliser une économie d'énergie est fortement appréciable. L'estimation du potentiel d'économie d'énergie à l'horizon 2010 en Algérie s'élève à environ 900 Milliers de TEP et à raison de 200 dollars américains la TEP soit donc un gain de 180 Millions de dollars (Ministère de l'Énergie et des Mines, 2005).

Alors que Le potentiel solaire de l'Algérie, qui dispose d'un gisement solaire des plus élevés au monde estimé à 169 TWh/an, est le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 5 000 fois la consommation algérienne en électricité. Le décret sur les coûts de diversification, promulgué en application de la loi relative à l'électricité, prévoit des avantages significatifs pour l'électricité produite à partir des énergies renouvelables (ENR), des primes qui peuvent aller jusqu'à 300% du prix de l'électricité classique. Un millier de foyers du Grand-Sud a bénéficié de l'électricité grâce à des systèmes solaires photovoltaïques dans le cadre du programme national d'électrification rurale 1995-1999.

Le recours à cette alternative est très faible dans le bilan énergétique national, soit 0,02% de la consommation nationale d'électricité moins de 5 GWh. C'est également un complément à l'électrification pour l'alimentation en électricité des sites isolés.

Selon certaines estimations, l'ensemble du territoire national recèle un potentiel de 2000 heures par an de durée d'insolation. Elle peut atteindre les 3900 heures sur les hauts plateaux et le Sahara. L'énergie quotidienne reçue sur une surface horizontale de 1m^2 sur la majeure partie du territoire national est évaluée à 5 KWh, soit une puissance d'environ 1 700 KWh/ m^2 /an dans le Nord du pays et 2 263 KWh/ m^2 /an dans les régions du Sud (Ministère des Energies & des Mines).

En France, Les estimations de chauffage de ménages en gaz naturel sont évaluées selon l'âge et la qualité des bâtiments, comprise entre 160 et 300 kWh par m² et par an. Pour les bâtiments neufs, répondant à la réglementation thermique en vigueur (RT 2005), cette consommation est de l'ordre de 100 kWh/m².an. Or, les techniques constructives d'ores et déjà disponibles pourraient permettre de diviser par deux cette consommation, pour atteindre environ 50 kWh/m².an. Comparativement à 1700 KWH/m²/an de rayonnement solaire au nord Algérien, 50KWH/m²/an de soleil sur un plan horizontal au midi de la France est vraiment significative.

Troisième Chapitre : Le Confort¹³

3.1 Introduction

Au sens large, La notion de confort n'a pas attendu le « tique », c'est à dire l'électronique, pour entrer dans la maison. Le confort de l'antiquité et du moyen âge était celui de l'espace. Le confort de l'ancien régime était celui de l'ornement, aujourd'hui le confort est celui de l'économie des corvées ménagères mais aussi son autonomie et la plénitude de son être. (Jean et Françoise Fourastier, 1962).

Le confort thermique se définit comme la satisfaction exprimée à l'égard de l'ambiance thermique du milieu environnant. Pour qu'une personne se sente confortable, trois conditions doivent être réunies : (SCHREIBER, L. 1985) Le corps doit maintenir une température interne stable.

La production de sueur ne doit pas être trop abondante et la température moyenne de la peau doit être confortable.

Aucune partie du corps ne doit être trop chaude ni trop froide (inconfort local). Si le confort thermique est souhaitable, il est souvent difficile de l'obtenir dans plusieurs milieux de travail. Toutefois, des conditions thermiques inconfortables ne présentent pas nécessairement un risque pour la santé ou la sécurité des travailleurs puisque l'organisme peut s'adapter dans une certaine mesure aux fluctuations de l'ambiance.

Les principaux facteurs qui régissent les échanges de chaleur entre une personne et son environnement et qui ont une incidence sur son confort thermique sont les suivants :

Pour la personne ; l'activité physique (production de chaleur par le corps) et son habillement. Pour l'environnement La température de l'air et ses fluctuations ; Le rayonnement thermique ; L'humidité ; La vitesse de l'air ; La température des objets avec lesquels la personne est en contact.

¹³ Confort : Le Dictionnaire "Petit Robert" : Confort n.m. Tout ce qui contribue au bien-être, à la commodité de la vie matérielle.

Les conditions d'un environnement thermique acceptable sont définies dans la norme 55-1992 et son addenda 1995 de l'American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) intitulée 'Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy'. Cette norme spécifie des conditions dans lesquelles 80 % ou plus des personnes en bonne santé trouveront une ambiance confortable. En effet, en raison des différences de perception d'un individu à l'autre, il est impossible de déterminer une ambiance thermique qui soit satisfaisante pour tous. La norme ASHRAE peut servir de repère pour l'évaluation d'une situation de travail. La notion de confort permet de nombreuses interprétations et est difficile à standardiser. Pour l'un, le confort ce sera une température ambiante de 22 degrés, pour un autre, ce sera 18 degrés... Mais dans un bon fauteuil. C'est un concept qui dépend de nombreux paramètres comme l'âge, le métabolisme, les habitudes, l'environnement, le milieu social ; la dimension subjective étant essentielle. Comme la sécurité, le confort, c'est aussi ce qui ne se remarque pas ; ce qui se remarque c'est l'inconfort (ou l'insécurité).

3.2. Etat de l'art sur le confort thermique

Le confort thermique a été le sujet de nombreux travaux de recherche. Ils ne concernent pas uniquement les bâtiments, mais aussi les moyens de transport (voitures, avions) ou les lieux de travail sous des conditions extrêmes.

En ce qui concerne les bâtiments, le domaine de recherche sur le confort thermique est partagé entre deux approches. La première étudie le confort thermique d'une façon analytique. Elle n'est pas restreinte aux bâtiments. La deuxième approche, basée sur l'incapacité de l'approche analytique à représenter la réalité du confort thermique dans les bâtiments, est l'approche adaptative.

3.2.1. Approches analytiques (statiques)

L'approche analytique du confort thermique est basée sur le calcul du bilan thermique du corps humain, par des modèles physiques et physiologiques essentiellement. L'objectif est de prédire la sensation thermique des occupants afin d'identifier les conditions de confort thermique. Pour déterminer les grandeurs physiologiques de l'individu (température cutanée, température interne et mouil-

lure cutanée), des modèles physiologiques du système de thermorégulation ont été développés. Des modèles physiques sont aussi utilisés pour calculer les échanges de chaleur entre l'occupant et son environnement (conduction, convection, rayonnement et évaporation).

Dans les bâtiments, les modèles du confort thermique les plus couramment utilisés sont celui de (Fanger, 1994), le PMV (vote moyen prévisible), et celui de (Gagge, 1997), le SET (température effective standard). Le modèle de Fanger a servi de base pour la norme internationale ISO 7730 qui porte sur les conditions de confort dans les ambiances thermiques modérées, et celui de Gagge pour la norme américaine ASHRAE standard 55 qui lui aussi précise les conditions de confort thermique dans les bâtiments.

La définition du confort thermique dans les bâtiments est importante non seulement pour la qualité des ambiances intérieures, mais aussi pour la quantité d'énergie à fournir par les équipements d'ambiance. Or l'énergie utilisée pour chauffer, ventiler ou climatiser les bâtiments représentent la majorité de l'énergie consommée par ce secteur, un secteur qui à lui seul, utilise plus de 40% de la consommation d'énergie finale et est responsable du quart des émissions de CO₂, principal gaz à effet de serre.

Avec les préoccupations grandissantes du développement durable, le secteur du bâtiment doit répondre à deux exigences primordiales, maîtriser les impacts sur l'environnement extérieur, tout en assurant des ambiances intérieures saines et confortables. Ainsi, une vision globale du confort thermique qui tient compte de sa pluridisciplinarité est indispensable. En fait, physiologie, physique, psychologie et sociologie sont tous des domaines qui interviennent, dans une certaine mesure, lors de la définition du confort thermique.

Le confort thermique est souvent défini par la satisfaction exprimée quant à l'ambiance thermique (ISO 7730: 1994). L'homme étant homéotherme¹⁴, il doit assurer en continu son équilibre thermique. Pour cela, il dispose d'un système de thermorégulation qui lui permet de régler les échanges de chaleur avec son envi-

¹⁴ Homéotherme : dont la température centrale est constante et reste indépendante de celle du milieu extérieur.

ronnement, en exerçant des réactions conscientes (adaptation comportementale) et inconscientes (vasomotricité, frisson et sudation). Avec un bilan thermique global nul, le corps humain assurera son équilibre thermique. La neutralité thermique résulte d'un équilibre thermique obtenu par peu (ou aucune) de réactions physiologiques (Bruant, 1997). Toutefois, cette neutralité thermique ne correspond pas nécessairement au confort thermique. Au delà des facteurs physiques et physiologiques qui régissent la sensation thermique, d'autres facteurs d'ordre psychosociologiques influencent le confort thermique. En effet, la satisfaction perçue, par un occupant dans une ambiance donnée, s'exprime en fonction de l'accord entre les conditions thermiques actuelles dans le bâtiment (satisfaction obtenue) et celles qui correspondent aux attentes de l'occupant (satisfaction anticipée) (Brager Gail.S, 1998) et (R.Cantin, 2005).

Une maison intelligente doit donc offrir le moins d'inconfort possible à ses occupants. Les différentes approches du confort peuvent être séparées en deux grandes familles ; confort d'ambiance (confort thermique, qualité de l'air, nuisances, eau chaude sanitaire), et confort d'usage (mobilier, aménagement, décoration, éclairage, tâches ménagères). «Tout le monde rêve d'un logement encore plus confortable. La bonne température dans chaque pièce, un éclairage adapté, un air sain partout, une ambiance agréable selon notre mode de vie. Il existe de nombreuses solutions pour avoir le confort au bout de ses doigts » (<http://www.addi.org>).

Ainsi par exemple, un enfant qui s'est roulé dans la neige avec ses camarades de jeux entre les joues rouges et haletantes, dans le séjour chauffé de sa maison. Il porte une combinaison molletonnée qu'il va bientôt enlever. Motif ; l'activité intense à l'extérieur nécessite une augmentation de la production calorifique du corps et cette chaleur doit pouvoir s'écouler relativement vite sinon l'on ressent une impression désagréable de trop forte chaleur. La combinaison de ski, retenant la chaleur, fait obstacle à ce flux thermique. En plein air, pour des températures inférieures à zéro, le maintien de la chaleur à l'intérieur de la combinaison est tout à fait voulu. Mais dans le séjour, à 21°C, la chute de température est beaucoup plus faible, et le transfert de la chaleur se fait lentement au travers de

la matière molletonnée. (Organisation internationale de normalisation .Ambiances thermiques, 1985).

Le confort est une notion relativement subjective. Sa sensation par l'être humain fait intervenir plusieurs facteurs physiologiques, biologiques. Le métabolisme, habillement, température cutanée, température ambiante, humidité relative, température des parois, la vitesse de l'air et ventilation etc..... Le corps humain consomme de l'énergie sous forme d'aliments et par une oxydation il s'échauffe. L'excès de chaleur doit être restitué à l'atmosphère pour assurer le maintien de la température égale à 37°C d'où ces réactions d'échanges avec l'air ambiant soient minimisées.

Dans une même ambiance, quelqu'un pourra se sentir à l'aise (sensation de confort) alors que quelqu'un d'autre pourra être gêné (sensation d'inconfort). Il y a en effet une part personnelle dans l'appréciation du confort thermique, liée en particulier de chacun, c'est-à-dire à la production de chaleur du corps. Cette production de chaleur dépend des personnes, de leur activité et de leur état de santé (ASHRAE, 1995)

3.1.2. Facteurs ayant une incidence sur le confort thermique.

Il n'est pas anormal que nous voulons une température plus élevée dans la salle à manger ou la chambre d'enfants que dans le hall. Nous voulons que la chambre à coucher ou la salle de bain soient bien réchauffées à certains moments. Dans la pièce où vous repassez votre linge, la température peut être moins élevée que dans le living où vous regardez la télé. Nous voulons contrôler notre budget d'énergie en programmant le chauffage à une température minimale au moment où nous ne sommes pas à la maison. D'autre part nous ne voulons pas entrer dans une glacière si nous ouvrons la porte d'entrée (<http://www.abyz.be/frans/fr.htm>).

Le confort thermique désigne ainsi une interaction forte entre l'occupant et le bâtiment, plus riche que celle d'un simple voisinage décrit par un nombre limité d'équations physiques décrivant les transferts thermiques. Plusieurs configurations sont possibles :

- ✓ le bâtiment influence l'occupant ;
- ✓ l'occupant agit sur le bâtiment ;

- ✓ le bâtiment et l'occupant s'influencent mutuellement.
- ✓ L'investigation des conditions de confort conduit alors à étudier des phénomènes où interagissent de multiples facteurs, et où se combinent des principes de régulation et de déséquilibre.
- ✓ Les principaux facteurs qui régissent les échanges de chaleur entre une personne et son environnement et qui ont une incidence sur son confort thermique sont les suivants : (SCHREIBER, L 1985).

Pour la personne :

- ✓ Son activité physique (production de chaleur par le corps).
- ✓ L'habillement qui est un moyen complémentaire d'adaptation dont dispose l'homme pour maintenir son équilibre thermique.

Pour l'environnement

- ✓ Le rayonnement thermique.
- ✓ L'humidité : Les limites de l'humidité relative indiquées dans le graphique Figure 8 : Le Confort est basé sur des considérations qui relèvent du confort thermique. Ces limites ont été établies pour prévenir l'assèchement de la peau, et l'irritation des yeux et des voies respiratoires
- ✓ La vitesse de l'air : Aucun mouvement d'air minimum n'est nécessaire pour assurer le confort thermique lorsque les températures se situent dans la zone de confort
- ✓ La température des objets avec lesquels la personne est en contact

L'un des rôles de l'habitat est de minimiser les échanges thermiques, c'est-à-dire de protéger le corps humain contre les agressions du climat ; ainsi le froid augmente les échanges par convection et par évaporation provoquant une sensation de froid. Mais aussi l'air chaud et humide réduit la possibilité d'évaporation passive de la peau, l'obligeant à transpirer (Conception thermique de l'habitat, Edition EDISUD, 1998).

L'ASHRAE spécifie les normes de confort dans son ensemble en termes de température opératoire. Cette température tient compte de la température de l'air, du rayonnement thermique et de la vitesse de l'air jusqu'à 0,15 – 0,2 m/s. Les vêtements d'intérieur portés l'hiver offrent un degré d'isolation thermique plus élevé que les tenues d'été. C'est pourquoi les températures opératoires de confort varient avec les saisons. À 50 % d'humidité relative, ces températures s'étalent de 23 à 26 °C en été, et de 20 à 23,5 °C en hiver. Ces plages de températures sont légèrement déplacées pour un taux d'humidité supérieur ou inférieur

à 50 % (Figure 8), Plages de température et d'humidité acceptables pour des personnes portant des vêtements d'été ou d'hiver habituels et effectuant un travail léger et sédentaire, (ASHRAE, 1995). Dans le cas où il n'y a pas d'échange par rayonnement entre la personne et son environnement (par exemple, absence de rayonnement direct du soleil ou d'une fenêtre froide), on peut considérer que la température opératoire est sensiblement la même que la température de l'air ambiant. Le graphique peut alors être utilisé avec la température de l'air.

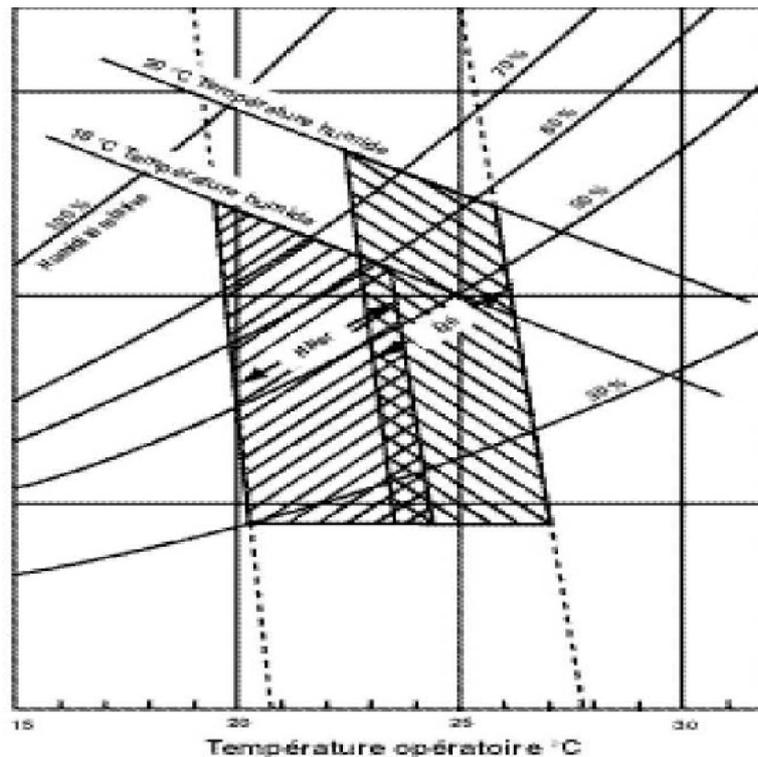


Figure 8 : Le Confort

Le confort peut aussi dépendre de critères plus subjectifs ou plus personnels (niveau de stress par exemple). Néanmoins, les zones de confort sont définies comme étant les environnements hygrothermiques où 80 % des personnes ressentent une sensation de confort. L'obtention du confort d'été se fait en agissant sur les paramètres environnementaux, il faut veiller à limiter les températures de l'air et des parois et contrôler le taux d'humidité et la vitesse de l'air ambiant. Il est reconnu que parmi les facteurs agissant sur le confort, le contrôle de la température radiante est primordial, il est donc important de veiller à ne pas avoir

une pénétration directe du rayonnement solaire, directement sur l'occupant ou sur les parois.

3.1.3. Les caractéristiques du bâtiment méditerranéen agissant sur le confort thermique.

Un bâtiment méditerranéen doit bien sûr prendre en considération les conditions spécifiques du climat. Pour être confortable, il devra être facile à chauffer, mais aussi rester frais en été, avec une consommation d'énergie aussi réduite que possible, voire nulle. La conception devra en outre, procurer un confort visuel, acoustique, et une bonne qualité de l'air tout en tenant compte de l'occupation du bâtiment et du comportement des usagers. Cette conception devra avant tout s'attacher à la qualité de l'enveloppe afin de parvenir aux performances que l'on peut attendre d'un tel bâtiment. Les équipements techniques nécessaires au maintien du confort intérieur devront assurer leurs fonctions dans des conditions d'efficacité énergétique optimales. (ARENE, 1999).

Dans un bâtiment, la consommation d'énergie et le confort thermique des usagers sont directement liés à la transparence de l'enveloppe. Mais de nombreux autres paramètres liés au site et à la conception du bâtiment ont une influence. Dans les premières étapes d'un projet, il est très difficile pour un architecte de prédire le comportement d'un bâtiment. Et ceci principalement parce que les architectes ont tendance à concevoir des bâtiments en suivant une approche du type bâtiment dans sa globalité jusqu'au plus petit détail (Ellis, M. W, 2001).

Cela veut dire qu'aux étapes initiales du projet, seulement des solutions générales sont mises en œuvre (Shaviv, E. and all, 1996) et aucune spécification détaillée n'est prise en compte tel que les matériaux employés ou le type de fenêtres.

L'enveloppe du bâtiment est le premier des éléments sur lequel le concepteur doit intervenir, pour créer, à l'intérieur de son ouvrage des conditions de confort satisfaisantes.

Les architectures climatiques (ou écologiques) jouent sur différents paramètres :

- ✓ capter le soleil en hiver,
- ✓ réduire les apports de chaleur en été,
- ✓ se protéger du vent froid mais favoriser la ventilation,
- ✓ bien voir à l'intérieur et vers l'extérieur en tenant compte de la luminosité spécifique de la région méditerranéenne,

Faire la synthèse entre toutes les données et toutes les exigences est un des rôles premiers des concepteurs et en particulier de l'architecte. Les réglementations thermiques en Algérie pourront être à l'origine d'une amélioration de la qualité des bâtiments par rapport à la thermique d'hiver, en revanche, le confort d'été n'est que rarement pris en considération. L'architecture méditerranéenne a su répondre par le passé avec ses moyens à cette double contrainte climatique. Des solutions contemporaines existent. L'habitat méditerranéen traditionnel, de par le climat clémente de la région, n'avait parfois aucun système de chauffage. De nos jours, les habitants exigent du confort (chaleur, fraîcheur, ventilation) et la conception doit utiliser au mieux les différentes techniques existantes pour satisfaire à cette demande, dont par exemple : (Guide de l'architecture bioclimatique, 2003)

Réduction des besoins de chauffage :

- ✓ L'organisation des espaces
- ✓ la forme compacte des bâtiments
- ✓ L'isolation thermique des murs et des toitures
- ✓ Orientation – disposition des locaux :
- ✓ le choix de l'exposition solaire
- ✓ la protection au vent
- ✓ la ventilation estivale
- ✓ la protection des vitres

Traitement des espaces extérieurs 'l'extérieur est un autre dedans' «le Corbusier» : les paramètres climatiques sont modifiés aux abords des bâtiments, on observe un microclimat urbain. En été, le microclimat résultant de l'urbanisation a des caractéristiques plus contraignantes que les données météorologiques principalement par effet de surchauffe aux abords immédiats des bâtiments, consécutifs à l'ensoleillement du sol et des façades. Le microclimat et son interaction sur l'ambiance thermique à l'intérieur du bâtiment doivent être maîtrisés, pour mi-

minimiser les contraintes estivales sans compromettre le bilan hivernal. Les paramètres influant sur le micro climat urbain essentiellement sont :

- ✓ le rayonnement (bilan radiatif);
- ✓ la convection (bilan convectif);
- ✓ L'humidité (bilan évaporatif).

On peut rajouter le paramètre « éclairage » dans la variabilité dans l'espace et dans le temps. En été, participant à la sensation de confort ou d'inconfort vécu par l'utilisateur. Le bruit environnant pouvant aggraver le stress thermique. (Morphologie, végétal et microclimat urbain, 1997).

L'inertie thermique :

La capacité thermique d'un matériau est la quantité de chaleur mise en réserve lorsque sa température augmente de 1°C. On l'exprime en Wh/m³°C et on l'obtient en faisant le produit de la masse par la chaleur spécifique du matériau. Plus elle est grande, plus la quantité de chaleur à apporter à un matériau pour élever sa température est grande.

Si dans le domaine mécanique, l'inertie s'oppose à la variation de vitesse ; dans le domaine thermique, l'inertie s'oppose à la variation de température. Dans les deux cas, plus les éléments seront lourds, plus il y aura d'inertie. Dans une maison, avoir une température stable (entre le jour et la nuit, entre l'été et l'hiver) est un élément important dans le confort. Cette stabilité, peut être obtenue naturellement par l'utilisation d'éléments lourds à l'intérieur de la maison. C'est pourquoi les maisons anciennes avec leurs murs épais restent plus fraîches en été (B Givoni, l'homme, l'architecture et le climat).

De plus, une maison avec une forte inertie permettra, notamment en demi-saison, d'accumuler la chaleur reçue des rayons solaires pendant la journée pour la restituer le soir, évitant de rallumer le chauffage. Elle permet ainsi de raccourcir la saison de chauffe. Cependant, dans les constructions conventionnelles actuelles, les murs (généralement en briques ou en parpaings) sont placés à l'extérieur et l'isolation est placée du côté intérieur (cas de l'Algérie). Les isolants courants comme les polystyrènes et les laines minérales sont très légers, donc offrent très peu d'inertie et c'est pourquoi il est difficile de garder ces maisons fraîches l'été.

L'inertie thermique d'un bâtiment est sa capacité à stocker et de restituer des quantités importantes d'énergie dans sa structure. La propriété des bâtiments à forte inertie est de conserver une température stable. La structure de la construction mettra plus de temps à s'échauffer ou à se refroidir lentement, alors que les constructions à faible inertie suivent sans amortissement ni retard de fluctuations de la température. L'utilisation de l'inertie dans les climats à fortes amplitudes thermiques contribue très largement au confort thermique des bâtiments, elle joue un rôle d'amortisseur sur les variations de température et contribue à la stabilité de celles-ci.

La question est donc : comment combiner les avantages d'une bonne isolation compatible avec les exigences actuelles « type maison "moderne" » avec une bonne inertie (type maison "ancienne").

De ce fait, les constructions dotées d'une structure légère au niveau de son enveloppe, ont souffert de la canicule de l'été 2003 qui a entraîné une forte demande en énergie pour faire fonctionner les climatisations. Celles-ci ont engendré, un réchauffement conséquent de la température des villes qui sont devenues alors de véritables « fours ».

On distingue plusieurs formes d'énergies thermiques : (Pierre Lavigne, 1998). L'inertie quotidienne est utilisée pour caractériser l'amortissement de l'onde quotidienne de température, d'ensoleillement et d'autres apports gratuits sur une période de 24 heures.

En hiver, les parois lourdes de la pièce ensoleillée s'échauffent puis restituent lentement, dans la maison, la chaleur solaire qu'elles ont stockée. Outre, une économie de chauffage, l'inertie des parois apporte une agréable sensation de confort, puisqu'elles ne sont pas froides. A l'inverse d'une maison légère, le rayonnement solaire ne peut être absorbé et provoque très rapidement des surchauffes de l'air intérieur (il n'y a donc ni économie ni confort) tout en laissant la maison froide dès que le soleil a disparu.

Autrement dit ; L'inertie permet une bonne gestion de la chaleur en hiver. Cette capacité à stocker permet de profiter des apports solaires de la journée et des apports gratuits, en protégeant du refroidissement la nuit. En parallèle si on arrête de chauffer un local d'inertie moyenne ou en l'absence momentanée

d'apports solaires directs, les parois vont rapidement prendre le relais. Cela permet de réguler la puissance de chauffe appelée et de diminuer la puissance installée. L'inertie d'un bâtiment, en contribuant à atténuer les fluctuations de température brutales dans les locaux, est une source de confort : elle évite les surchauffes et les chutes trop brutales de température. En évitant les surchauffes, l'inertie limite les pertes de chaleur. C'est donc un facteur d'économie d'énergie en hiver pour les locaux à occupation continue. En contrepartie, dans les locaux à occupation intermittente comme les salles de classe ou les bureaux, la gestion du chauffage doit prendre en compte le comportement des parois pour anticiper la mise en route ou l'arrêt du chauffage en fonction de l'occupation des locaux.

La forte inertie est un atout pour le confort d'été. L'inertie thermique de la construction fait partie des éléments pris en compte dans les mesures passives du confort thermique d'été. D'une région à l'autre, selon la zone climatique d'été dans laquelle est implantée l'opération, il faut savoir que les dispositions constructives à mettre en œuvre dans la région la plus chaude, ne se traduit pas par simple ajout d'occultation extérieure. En effet, le bâti est lui même concerné (inertie de la construction), voire certains équipements lourds (ventilation), ce qui encourage de prendre en considération cette exigence pour le confort d'été. L'été, les parois à forte inertie emmagasinent la fraîcheur de la nuit et la restituent pendant la journée, faisant tampon aux chaleurs excessives. En même temps en journée, les apports internes de chaleur sont rapidement absorbés, ce qui permet de réguler les températures intérieures. Il est important de souligner qu'une forte inertie ne suffit pas. Les locaux de moyenne à forte inertie doivent être impérativement ventilés la nuit pour évacuer la chaleur stockée en journée. Le rôle de l'occupant ou de la domotique, est donc primordial pour établir un équilibre d'un jour à l'autre afin de maintenir une température proche du confort. (SOL A.I.R, 1988)

Les règles générales pour concevoir les bâtiments en corrélation avec le climat en Algérie sont a priori les caractéristiques de conception de constructions. B.Givoni a donné des règles de base en ce qui concerne la conception des constructions dans les climats pareilles au climat (Borel, J, 1962.). En général, les bâtiments sont conçus avec des toits plats et avec des matériaux lourds et de très

petites ouvertures. Ayant donné le climat saharien très chaud et très sec, le choix du site d'implantation doit obéir à une conception du plan d'urbanisme compact, capable à réduire la surface exposée au soleil et d'augmenter l'inertie thermique des constructions. Les circulations doivent être ombragées au maximum l'été et favoriser la ventilation naturelle. Les balcons, les portes à faux, les passages couverts ou les arcades ajoutent à créer des ombres portées sur les habitations. Les bâtiments doivent autant que possible avoir une double orientation et les ouvertures prévues sur les façades permettent une ventilation transversale énergétique la nuit pendant l'été pour refroidir la structure du bâtiment.

Quatrième Chapitre: La réglementation thermique dans les bâtiments.

4.1. Introduction.

La réglementation thermique est un ensemble de lois visant à la maîtrise de l'énergie dans le bâtiment, ceci pour assurer le confort des occupants du bâtiment et réduire les émissions de polluants locaux et globaux et diminuer les charges d'exploitation des locaux (notamment le chauffage). Les enjeux de la réglementation thermique sont économiques pour réduire la facture énergétique. Enjeux environnementaux pour réduire l'effet de serre dans le cadre des accords de Rio¹⁵ et du protocole de Kyoto¹⁶. Enjeux sociaux pour assurer un meilleur confort des personnes. Les économies d'énergie ont pour objectif une stabilisation du niveau des émissions de CO₂ à celui de 1990 à l'horizon 2008-2012.

La réglementation thermique donne un seuil réglementaire de performance pour notre habitation, lieu de travail ou lieu de vie. Ce seuil tient compte de nombreux paramètres dont l'isolation bien entendu, l'ensoleillement, la ventilation, les équipements et système de chauffage, et de leur finesse de régulation et de programmation. La réglementation thermique est un ensemble de règles obligatoires à observer lors de la construction des bâtiments afin de réduire leur consommation d'énergie tout en assurant le confort des utilisateurs, par exemple; la réglementation thermique 2005 en France, devrait avoir pour objectif une diminution de 40% de la consommation énergétique en 2020, et de 15% en 2005 et rendre l'utilisation de la réglementation Thermique plus aisée pour les maîtres d'ouvrage et constructeurs (CSTB, 2006).

¹⁵ Il y a 10 ans, au Sommet de la Terre à Rio, la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, aujourd'hui ratifiée par 186 pays, a reconnu l'existence du changement climatique d'origine humaine et imposé aux pays industrialisés le primat de la responsabilité pour lutter contre ce phénomène. Elle a fixé un objectif ultime : la stabilisation des « concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique ».

¹⁶ 16 Kyoto : Convention- Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, adoptée à New York le 9 mai 1992.

Les résultats des audits énergétiques gérés par Agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'énergie (APRUE, Algérie) relatifs aux bâtiments existants ont montré que l'accroissement des émissions des gaz à effet de serre en majeure partie à cause de la détérioration de la qualité thermique des nouveaux et anciens bâtiments en Algérie qui est dû :

- ✓ à l'orientation des ménages vers des architectures modernes non adaptées à notre contexte socio-culturel et climatique,
- ✓ aux promoteurs immobiliers qui ne sont pas futurs gestionnaires des bâtiments qui ont tendance à réduire au maximum les investissements sans se soucier de la facture énergétique une fois ces bâtiments construits,
- ✓ au budget des bâtiments civils qui sont souvent insuffisants pour la construction de bâtiments économes en énergie,
- ✓ aux délais de réalisation très courts des bâtiments qui favorisent la duplication de la même architecture du bâtiment sans la prise en compte de la spécificité du climat de chaque région, lors de la réalisation.

Tous ces facteurs ont contribué à l'utilisation de plus en plus de systèmes conventionnels de chauffage et de refroidissement afin de remédier à l'insuffisance due à la qualité thermique de nos bâtiments.

La mise en place d'une réglementation thermique et énergétique des bâtiments neufs devient par conséquent une nécessité étant donnée les perspectives énergétiques futures du pays et la forte contribution de ce secteur au niveau des émissions de gaz à effet de serre.

4.2. Imposer la réglementation thermique

L'amélioration de l'efficacité énergétique enregistrée dans les bâtiments résidentiels et tertiaires grâce à l'adoption d'une réglementation thermique appropriée devrait aider à réduire l'intensité énergétique dans les pays, ce qui laisse entrevoir l'impact positif des codes sur les consommations du secteur de la construction. Lorsque les réglementations imposent des rendements minimaux pour les appareils électriques

Le secteur de la construction représente environ 45 % de l'énergie primaire consommée en France et 30 % de la consommation d'énergie commerciale sur le plan mondial. Sachant qu'un bâtiment consomme 240 kWh/m²/an en moyenne

aujourd'hui, les efforts entrepris grâce à l'adoption de réglementations thermiques plus ou moins contraignantes dans plusieurs pays aideront à diminuer de manière draconienne, ce niveau de consommation d'ici une trentaine d'années, ce qui représente un enjeu économique, environnemental et technologique important pour la communauté internationale. (<http://www.anme.nat.tn/>).

A court terme, la solution pour l'amélioration de l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment passe par une adoption universelle des codes d'efficacité énergétique pour toutes les constructions neuves (la réglementation s'applique surtout pour le neuf), ce qui contribuera aussi à rendre crédibles les engagements internationaux pris dans le cadre de la lutte contre le réchauffement de la planète. (<http://www.cstb.fr/>).

Grâce à un travail approprié sur les performances de l'enveloppe et sur les équipements techniques utilisés dans l'exploitation des bâtiments ainsi que le recours aux énergies renouvelables (solaire, géothermie, éolienne, etc.), les bâtiments ne consommeront plus autant d'énergie dans un futur proche ([Http ://www.eetd.lbl.gov/gundog.](http://www.eetd.lbl.gov/gundog.)). La poursuite du développement de réglementations thermiques destinées à l'amélioration énergétique des bâtiments neufs d'un côté et la promotion de guides techniques pour la gérance énergétique des bâtiments existants de l'autre constituent donc des solutions viables dans le cadre des efforts entrepris pour la maîtrise de l'énergie dans le monde. Tous les pays devraient être encouragés à suivre cette voie.

4.3 Principes directeurs d'une réglementation thermique

Les principes qui sont à la base d'une réglementation thermique peuvent se présenter de la manière suivante :

4.3.1. Premier principe : limiter la consommation globale d'énergie des bâtiments :

L'économie d'énergie permet à la fois de lutter contre l'effet de serre, dans le respect de l'équilibre concurrentiel entre les filières énergétiques (enjeu environnemental), de préserver les ressources énergétiques, de réduire la facture payée par les occupants (enjeu social).

L'objectif de consommation globale visé par la réglementation correspond à des gains importants : (exemple dans la réglementation française) de l'ordre de 20% en résidentiel et de l'ordre de 40% en tertiaire.

4.3.2. Deuxième principe : Exiger des résultats plutôt que d'imposer des solutions

La réglementation thermique impose des performances globales, une consommation maximum d'énergie, une température intérieure maximum en été tout en laissant de grandes marges de liberté aux maîtres d'ouvrage, architectes et bureaux d'études sur la manière d'atteindre ces performances.

Les concepteurs peuvent choisir et combiner librement les matériaux de construction, les méthodes constructives, les équipements de chauffage, ventilation et production d'eau chaude, en vue d'obtenir le résultat demandé qui permet aux maîtres d'ouvrage de retenir des solutions adaptées à la spécificité de leur marché ou au contexte particulier d'une opération. Ceci favorise les initiatives innovantes parmi les maîtres d'œuvre, pour optimiser le coût global de leurs projets. En ce qui concerne la consommation d'énergie, les concepteurs peuvent ainsi jouer sur trois leviers principaux :

- ✓ le traitement thermique de l'enveloppe du bâtiment (choix des matériaux et procédés constructifs, isolation, traitement des ponts thermiques, facteur solaire et protection des baies vitrées.)
- ✓ le système de ventilation,
- ✓ les équipements de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire.

Pour éviter toute exagération dans les arbitrages, qui nuirait à la cohérence d'ensemble du bâtiment et serait au final préjudiciable aux utilisateurs, la réglementation encadre par des « garde-fous » la possibilité de jouer sur les différents paramètres de la consommation d'énergie :

- ✓ isolation des parois opaques,
- ✓ ponts thermiques,
- ✓ types de fenêtres,
- ✓ système de ventilation,
- ✓ système de chauffage,
- ✓ système de production d'eau chaude,

- ✓ dispositifs d'éclairage

4.3.3. Troisième principe : Une progression continue des performances

Les textes prévoient d'élargir et de renforcer la réglementation thermique tous les 5 ans pour atteindre les objectifs nationaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Cinq ans, c'est le temps nécessaire pour que des pratiques de construction innovantes puissent démontrer leur intérêt et deviennent généralisables (CSTB, 2005). Les labels Haute Performance Energétique (HQE)¹⁷ préparent ces paliers de renforcement en favorisant la progression des produits, des équipements et des solutions.

4.3.4. Quatrième principe : Des outils de calcul élaborés pour faciliter les optimisations

La réglementation impose l'application de méthodes¹⁸ précises pour évaluer la consommation énergétique et la température intérieure d'été d'un bâtiment.

Ces méthodes résultent d'une modélisation complète et détaillée des phénomènes thermiques au sein d'un bâtiment. Elles ont essentiellement pour objet :

- ✓ la définition des valeurs plafond (consommation d'énergie, température intérieure d'été et hiver) du bâtiment ;
- ✓ le calcul du positionnement du projet par rapport à ces valeurs plafond.

La modélisation relativement complexe sur laquelle s'appuient ces méthodes, nécessite le recours à des moyens informatiques.

Le concepteur d'un bâtiment peut ainsi ajuster les caractéristiques du bâtiment par itérations successives, pour respecter le programme que lui a fixé le maître d'ouvrage et satisfaire conjointement aux exigences de la réglementation

¹⁷ HQE : La haute qualité environnementale des bâtiments est un concept apparu au début des années 90 et qui s'est depuis largement développé. Elle est aujourd'hui au centre d'un mouvement important qui concerne l'ensemble du monde du bâtiment. Il ne s'agit pas d'une réglementation ni d'un label, mais d'une démarche volontaire de management de la qualité environnementale des opérations de construction ou de réhabilitation de bâtiment.

¹⁸ 18 Les réglementations : Ces méthodes ainsi que le modèle qui les sous-tend, sont explicitées dans le chapitre 'SimulArch', les règles pour le calcul des consommations d'énergie du bâtiment, Règles pour le calcul du coefficient K général, Règles détermination des températures de confort ; Règles pour caractériser l'inertie thermique, Règles de calcul des facteurs solaires

thermique, dans les meilleures conditions de coût. SimulArch¹⁹ que nous proposons est un code de Calcul de simulation et de vérification des paramètres choisis dans le concept global du projet.

4.4. La réglementation thermique Algérienne et les expériences étrangères.

Ceci est le résultat d'une démarche visant l'optimisation de l'enveloppe des bâtiments au Maroc. Cette démarche se base, dans un premier temps, sur une étude et une analyse comparatives de différentes réglementations thermiques appliquées dans différents pays. (Johansson, E – Université de Lund, Suède, Maroc). Afin de définir un zonage climatique pour les périodes d'hiver et d'été une combinaison de différentes méthodes a été utilisée, à savoir les degrés -jours de chauffage, la température de base ainsi que des simulations par ordinateur du climat à l'intérieur d'un bâtiment type.

Une méthodologie d'approche a été identifiée et a permis, à partir de simulations par ordinateur d'un bâtiment type, d'optimiser les différents types de parois, en hiver ainsi qu'en été. Il faut noter que cette démarche a été adoptée uniquement pour la région de la ville de Fès (Maroc) mais la méthodologie peut être parfaitement transposée pour les autres zones climatiques du Royaume.

L'objectif est d'étudier et de comparer les principaux codes et règlements thermiques en vigueur dans les pays suivants : la France, l'Algérie, le Liban, les Etats-Unis, la Suède et la Grande-Bretagne.

4.4.1. La réglementation française

Les normes françaises pour ce qui est de l'isolation thermique et le chauffage des logements se trouvent rassemblées dans le « Règlement thermique 1988 des logements neufs » qui comprend entre autre l'Arrêté du 5 avril 1988. Entré en vigueur en 1989, ce document règle la consommation d'énergie et l'installation des équipements de chauffage dans un logement. Cet arrêté est complété par un

¹⁹ SimulArch : Développé dans le chapitre sept

certain nombre de règles de calcul décrivant en détails la manière de calculer les différents paramètres.

La consommation d'énergie relative au chauffage des nouvelles habitations était en 1988 inférieure de 42% par rapport à la consommation moyenne enregistrée en 1974. Ce qui caractérise les normes françaises est que de puis 1974, aucune exigence n'a été formulée concernant la transmission thermique (Coefficient K) des parois, les normes se concentrant sur les performances thermiques de l'ensemble du bâtiment. Les normes indiquant des débits d'air maximum et minimum permettent entre autre de compenser une perméabilité trop importante en prévoyant une isolation et vice versa. Et, dans le cas où l'on ne désire pas effectuer des calculs trop compliqués, on peut toujours utiliser des solutions type approuvées. Les exigences d'isolation thermique sont plus sévères pour les habitations utilisant le chauffage électrique comparées à celles utilisant un autre type de chauffage.

A noter que les normes Françaises ont été revues en 2000 où une nouvelle réglementation RT 2000 a été adoptée et appliquée à partir de juin 2001. La RT 2000 a permis le passage d'une approche française à une approche européenne et s'appuie largement sur des méthodes de calcul et des caractéristiques définies dans les normes européennes

Un nouveau renforcement des exigences au niveau de la performance énergétique des bâtiments, la prise en compte de la climatisation et de l'éclairage ainsi qu'un franc coup de pouce donné à la conception bioclimatique et aux énergies renouvelables sont quelques-uns des thèmes forts de la nouvelle réglementation thermique : la RT 2005.

La RT 2005 se fixe comme principaux objectifs une amélioration de la performance énergétique des bâtiments neufs d'au moins 15 % et la limitation du recours à la climatisation. Mais ce n'est qu'une étape intermédiaire car le but à ne pas perdre de vue est une diminution de 40 % de la consommation énergétique des bâtiments en 2020... (CSTB, 2005)

4.4.2. La réglementation Algérienne

En Algérie, la réglementation thermique de 1997 des bâtiments à usage d'habitation a été conçue pour réduire la consommation de chauffage de l'ordre de 25%. Une réflexion est engagée actuellement pour porter ce niveau d'économie à plus de 40%. Pour ce faire, des simulations numériques ont été menées sur des logements types. Il ressort de l'étude qu'en agissant sur la seule limitation des déperditions thermiques par transmission, il est possible d'atteindre ce nouvel objectif tout en réduisant substantiellement la charge de climatisation d'été. Une nouvelle réglementation thermique pourrait s'articuler autour des deux principes suivants : réserver la réglementation de 1997 à l'habitat individuel, définir de nouveaux coefficients réglementaires plus contraignants pour l'habitat en immeuble collectif. (SIDI MOHAMED and all, 2002).

Sous le titre de Réglementation thermique des bâtiments d'habitation : DTR C 3–2. Les règles de calcul des déperditions calorifiques, DTR C 3–2 définissent les performances thermiques minima mais comprennent aussi des conventions de calcul ainsi que des conventions de calcul pour le dimensionnement des installations de chauffage. La réglementation Algérienne s'inspire en grande partie de la réglementation française, par contre les méthodes de calcul utilisées sont plus simples, elle autorise, tout du moins dans certaines limites, le calcul informatisé des besoins de chauffage. Ceci est un point positif puisque cela permet de profiter de l'inertie thermique d'un bâtiment ; un facteur très important étant donné le type de climat et de constructions existantes diffère en Algérie.

Une réglementation prenant en compte le confort thermique est prise en considération surtout durant les périodes chaudes. Une telle réglementation est d'une importance capitale étant donné le problème du confort en période d'été et de la consommation d'énergie due à la climatisation utilisée dans de nombreuses régions d'Algérie.

4.4.3. La réglementation libanaise

Le Liban ne possède pas aujourd'hui de réglementation thermique mais a réalisé une étude proposant la mise en place d'une réglementation concernant l'isolation

thermique en période d'hiver et le confort intérieur en période d'été. La proposition, comme celle de l'Algérie, utilise le modèle français d'une manière plus simplifiée.

La proposition prévoit une norme ayant trait au confort thermique et va dans le sens d'une climatisation passive complétée par une ventilation naturelle. Dans ce contexte, l'étude prévoit des exigences de protection solaire aussi bien pour les baies que pour les parois opaques. En outre, l'étude indique des exigences sur l'inertie thermique en terme général, moyenne et forte, mais n'avance aucun chiffre.

4.4.4. La réglementation Américaine

La réglementation nationale de maîtrise de l'énergie dans les bâtiments, «IECC, International Energy Conservation Code » porte principalement sur les performances. L'objectif de la réglementation thermique américaine est de réglementer la conception de l'enveloppe des bâtiments afin que ceux-ci disposent d'une résistance thermique suffisante et d'une faible perméabilité à l'air. La réglementation étudiée ne donne aucune norme spécifique ayant trait au confort thermique, celui-ci est traité dans d'autres normes. Le confort intérieur et le confort hygrométrique sont traités en détail dans (ASHRAE 1997).

La réglementation américaine de la maîtrise de l'énergie permet le calcul des performances thermiques à l'aide de logiciel avancé. Cette méthode permet de concevoir un bâtiment d'une manière optimale. Les normes autorisent également l'utilisation de calculs simplifiés pour ce qui est des exigences maximales de la transmission surfacique des différentes parois ainsi que des solutions de type standard.

La norme prend en compte les climats d'hiver et d'été, et en régions chaudes, les normes d'isolation thermique ne sont pas aussi exigeantes mais spécifient l'utilisation de protection solaire des baies. Par contre, elle ne prévoit pas de protection solaire des façades.

Indépendamment des méthodes spécifiées, les calculs autorisés prennent en compte l'inertie thermique des murs extérieurs. Les calculs informatisés autori-

sent l'utilisation du chauffage passif provenant de l'énergie solaire ainsi que du refroidissement réalisé par une ventilation nocturne

4.4.5. La réglementation Suédoise

La norme suédoise de construction, BBR 94, (BBR, 2005) est une norme dictant les performances du bâtiment. Différents manuels complètent BBR 94, entre autre un manuel sur l'isolation thermique. La BBR n'indique aucune exigence d'isolation de chaque paroi mais spécifie une isolation thermique moyenne pour l'ensemble du bâtiment. Cette norme laisse donc aux ingénieurs et aux architectes une grande liberté dans la conception des bâtiments.

Les valeurs de conductivité thermique utile et de transmission surfacique font l'objet de calculs très précis et les apports de chaleur provenant de l'insolation sont pris en compte. Cependant, la capacité thermique et les apports internes des appareils et des utilisateurs ne sont pas pris en considération. (El Kortbi, M, 1999)

4.4.6. La réglementation Britannique

L'ensemble des règles contrôlant la construction en Grande-Bretagne se trouve rassemblé dans « Building Regulations ». Cette réglementation nationale remplace les arrêtés municipaux en vigueur jusqu'en 1984. La dernière réglementation date de 1991, modifiée en 1994.

La réglementation ne considère que la période d'hiver. De la même manière que les normes française et américaine, elle permet de choisir différents niveaux de calcul allant de la performance thermique de l'ensemble du bâtiment à des solutions standard. Les calculs les plus avancés prennent en compte les apports internes et les apports solaires. Par contre, les calculs ne prennent pas en compte l'inertie thermique.

De même qu'en France, la Grande-Bretagne autorise une moins bonne performance thermique dans le cas où les habitations utilisent une source d'énergie autre que celle provenant de l'électricité. (Markus T A, 1980)

4.5. Un projet européen pour la comparaison des réglementations thermiques européennes

Pour permettre de mieux comprendre les démarches réglementaires des différents pays et dont ils préparent une convergence, un ensemble de partenaires européens très impliqués dans leurs réglementations nationales et représentant 14 pays ont décidé de réaliser conjointement un projet européen intitulé ENPER²⁰ visant à comparer les différentes approches et à faire des suggestions sur ce que pourrait être une approche européenne en retenant les meilleures propositions identifiées.

Le projet ne s'est pas attaché seulement aux aspects techniques des différentes réglementations mais également aux aspects législatifs d'implémentations, d'applications et de contrôle ainsi qu'aux aspects économiques notamment l'impact sur les bâtiments, sur le marché et la prise en compte des solutions innovantes.

Il y a aujourd'hui un accord Européen pour aller vers des réglementations thermiques à bases performancielle pour lesquelles l'exigence sur la performance énergétique d'un bâtiment s'exprime par une valeur maximale à ne pas dépasser. Deux approches principales sont utilisées pour définir cette valeur maximale : une formule en fonction du type d'utilisation du bâtiment, de sa forme, de la zone climatique et éventuellement d'autres paramètres, ou une valeur correspondant au bâtiment de référence avec des prestations de référence.

Les méthodes de calcul intègrent quasiment toutes les pertes par les parois et par la ventilation ainsi que les apports solaires ; on assiste à une évolution progressive des méthodes nationales de calcul vers des méthodes européennes. La France fait partie du groupe de tête des pays qui intègrent l'impact du système de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire, l'impact de l'éclairage et l'impact du solaire thermique et qui intègrent les normes européennes.

Il n'y a pas aujourd'hui de consensus européen sur le bon nombre de données d'entrée pour les méthodes de calcul réglementaires. La France est à une extré-

²⁰ ENPER: **E**nergy **P**erformance **R**egulations

mité par rapport aux autres pays avec un nombre d'entrées importants, ce qui représente un avantage pour la liberté de conception mais également un inconvénient pour la complexité d'application.

D'un point de vue législatif, presque tous les pays doivent justifier de la conformité réglementaire en phase de conception du bâtiment pour l'obtention de l'autorisation de construire. (Département du développement durable, France 2003).

Au-delà des résultats attendus du projet, une plate-forme d'échange a été mise en place, elle continue à fonctionner principalement pour la préparation des actions liées à l'application de la directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments.

4.6. Les labels

Le défis à mettre en urgence ; l'impact des prix de l'énergie sur le tissu économique, risques climatiques liés aux émissions de gaz à effet de serre, complexité croissante du marché de l'énergie, nécessité de consommer, de produire et de vivre l'énergie autrement invitent les collectivités à repenser différemment les modes de consommations, d'aménagement, de mobilité dans un mouvement de développement durable des territoires. Il faut inciter la production de l'habitat aux caractéristiques énergétiques et environnementales exemplaires et qui constitue une des premières étapes de cet élan, défendu notamment par le mouvement 'basse énergie' (ex Passivhaus en Allemagne, Minergie en Suisse, Effinergie en France) (Céline Trousseau, 2005)

Le PASSIVHAUSS (Allemagne) : le label Passivhaus est une démarche qui s'applique à tous les bâtiments neufs et à la rénovation, dans l'habitat individuel et collectif et les bâtiments tertiaires. Ce label a une approche purement énergétique. Il se base principalement sur la super-isolation, l'utilisation de l'énergie solaire passive, la ventilation contrôlée, le rendement des appareils électriques, la baisse des déperditions thermiques et l'utilisation de l'énergie renouvelable. (<http://www.passiv-haus.de>).

Le MINERGIE (Suisse): Le standard Minergie est un standard de construction délibéré Basse énergie qui se propose d'utiliser l'énergie de manière ration-

nelle et d'avoir recours aux énergies renouvelables, tout en améliorant la qualité de vie, en demeurant compétitif et en diminuant l'impact sur l'environnement. Il est applicable à 12 types de bâtiments, habitat collectif et individuel, administration, écoles, commerces, restauration, lieux de rassemblement, hôpitaux, dépôts, industrie, installation sportives, piscines couvertes.

([Http://www.menergie.ch/fr](http://www.menergie.ch/fr)), ([Http://europeanpassivhouses.org](http://europeanpassivhouses.org)).

Le EFFINERGIE (France) : Le but est non lucratif et de promouvoir les constructions à basse énergie et de développer un référentiel des performances énergétiques, des bâtiments neufs et existants. Cette performance énergétique se veut nettement supérieure aux exigences réglementaires en vigueur. L'objectif étant de promouvoir des conceptions et réalisations de bâtiments précurseurs tendant à diviser par 4 nos émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050. (<http://www.effinergie.fr>).

4.7. Les outils de la réglementation thermique

La conception de la réglementation thermique repose sur une modélisation précise des phénomènes physiques pris en compte, et dont les algorithmes sont annexés à son arrêté de publication. Les états se sont ainsi dotés d'une réglementation juridiquement et techniquement stable qui lui permettra d'évaluer rapidement l'impact des renforcements ultérieurs prévus par le programme national de lutte contre le changement climatique. Le développement de ces modèles a été réalisé par les structures gouvernementales spécialisées en étroite concertation avec les experts et hommes de l'art concernés.

Les modèles informatiques permettent ainsi d'évaluer le confort thermique de ces bâtiments dans certaines conditions extérieures. Ces logiciels peuvent intéresser aussi bien les architectes lors de la conception du bâtiment (choix de l'orientation, des surfaces vitrées, des protections solaires) que les bureaux d'études lors de la conception du système de chauffage ou de climatisation.

La modélisation est un instrument incontournable. Elle répond au besoin incessant d'améliorer les connaissances et d'apporter des solutions au problème de bilan énergétique positif, tout en étant un vecteur efficace de transfert de connaissances vers le milieu professionnel. L'étude des transferts de chaleur et de

masse dans les bâtiments remonte maintenant presque à un siècle, les modèles élaborés s'étant complexifiés et raffinés au fil des décennies.

A partir des années 70, de nombreux logiciels de simulation thermique du bâtiment ont vu le jour. Au fil des années, les architectures monolithiques qui ont caractérisé les premiers développements ont laissé la place à des approches bien plus flexibles et modulaires : la description du problème, l'identification de phénomènes et de leurs liens, l'affectation de modèles, la résolution et l'analyse deviennent des mondes distincts. Ces évolutions se sont fortement inspirées de concepts empruntés à la systémique et à l'informatique (ex. objets, hiérarchie, héritage, etc.) et elles ont été accompagnées de plusieurs efforts de définition de sémantiques de modélisation transverses. Cependant, les besoins de la recherche et d'un métier qui exige des approches d'évaluation de plus en plus globales et transverses n'ont pas été encore comblés. Aujourd'hui, les développements sont marqués par la notion d'interopérabilité et par l'apparition de plate formes numériques regroupant des codes dédiés (thermique, acoustique, éclairage, ...etc.) capables de partager des informations, de dialoguer entre eux et d'apporter des solutions de conception plus globales.

Le premier pas vers la modélisation consiste à décrire l'objet d'étude. Pour le bâtiment, ceci se traduit par une description géométrique de ses éléments constitutifs, de leurs propriétés et de leurs relations. Il s'agit d'une tâche lourde, coûteuse en temps, et qui est souvent accomplie à l'intérieur des environnements de modélisation et de simulation en prenant comme point de départ les informations contenues dans des plans ou des fichiers de plans. (E.Palomo, 2004). Si l'on compare les six pays étudiés, on constate que chaque réglementation présente :

- ✓ Un découpage climatique basé sur la notion de degrés -jours de chauffage (DJCH), sauf la grande Bretagne et la Suède qui appliquent leurs codes sans zonage climatique,
- ✓ Des exigences différentes en matière d'isolation thermique des différentes parois du bâtiment (Coefficient K en fonction des zones climatiques),
- ✓ Des conventions de calcul différentes, notamment le coefficient d'échange superficiel intérieur et extérieur,

Différents critères réglementaires à satisfaire qu'il s'agisse des déperditions thermiques de chaque paroi ou de la performance globale de toute la construction. Le tableau ci dessous montre la comparaison entre quelques réglementations :

	Algérie	U.S.A	France	GB	Liban	Suède
Isolation Thermique	Valeurs max de l'ensemble de l'enveloppe	Valeurs max de l'ensemble de l'enveloppe ou valeur max de chaque paroi	Valeurs max de l'ensemble de l'enveloppe ou solution techniques approuvées	Valeurs max de l'ensemble de l'enveloppe ou valeur max de chaque paroi	Valeur max de chaque paroi	Valeurs max de l'ensemble de l'enveloppe
Inertie Thermique	est pas prise en compte	Une forte inertie thermique permet de réduire l'isolation thermique	Possible de la prendre en compte	est pas prise en compte	Des exigences en fonction de la zone climatique	est pas prise en compte
Protection solaire	Pas d'exigence	Une exigence existe pour les zones climatiques chaudes	Pas d'exigence	Pas d'exigence	Des exigences en fonction de la zone climatique	Pas d'exigence
Apports solaires	Ne sont pas pris en compte	Possible de les prendre en compte	Possible de les prendre en compte	Possible de les prendre en compte	Ne sont pas pris en compte	sont pris en compte
Apports internes	Ne sont pas pris en compte	Possible de les prendre en compte	Possible de les prendre en compte	Possible de les prendre en compte	Ne sont pas pris en compte	Ne sont pas pris en compte
Calcul informatisé	Possible	Possible	Possible	Possible	Possible	Possible

Tableau 1: Comparaison entre quelques réglementations

Cinquième Chapitre : Outil d'aide à la conception thermique de l'habitat

5.1 Introduction.

L'objectif ultime de la modélisation de l'habitat est d'approcher et de mieux contrôler la relation existante entre le climat et l'habitat dans son ensemble, c'est-à-dire de définir en fonction du climat la forme, les matériaux et l'énergie utile du bâti de manière optimale, sans oublier que l'un des critères essentiels est le critère économique.

En raison du coût et des durées expérimentales, la modélisation et la simulation sont des moyens efficaces pour mettre au point et étudier le comportement thermique des bâtiments en régime stationnaire et variable.

Lorsqu'un bâtiment se révèle coûteux en énergie et peu confortable, et, ou qu'il doit faire l'objet de travaux importants, le moment est venu pour procéder à une étude thermique approfondie. Celle-ci doit intégrer, de la façon la plus précise possible, les données climatiques du lieu ainsi que les contraintes et consignes d'utilisation des bâtiments liés à ses divers usages. (MM. Nicolas, 1978.).

Une telle étude nécessite un outil de simulation informatisé adéquat, appuyé sur des banques de données très bien fournies en informations climatiques locales (rayonnement solaire, température, humidité, vitesse du vent). Cet outil doit effectuer un transfert rapide et fidèle des plans du bâtiment concerné. Il permet la réalisation de simulations fines de l'enveloppe sur un nombre suffisant de zones thermiquement homogènes, correspondant à des expositions et des consignes spécifiques liées aux divers usages des locaux. Pour certaines périodes caractéristiques de l'année, il doit pouvoir fournir une simulation des températures, intégrant les charges liées à l'exposition et à l'occupation.

L'étude d'optimisation thermique de bâtiment constitue une démarche d'aide à la décision au service du maître d'ouvrage, elle s'effectue en concertation permanente avec celui-ci. Elle lui permet de comparer, en coût global (investissement, exploitation, entretien et maintenance, amortissement), différentes solu-

tions complètes et cohérentes, visant toutes à une limitation des consommations et des coûts par une combinaison judicieuse des paramètres internes et externes en fonction des usages et une gestion adaptée performante, tout en assurant le confort des utilisateurs et l'hygiène des locaux en toute saison et sur l'ensemble du bâtiment.

L'habitat économique en Algérie devient de plus en plus une réalité tant sur le plan technique qu'industriel. Cependant, cet état de fait n'implique pas que toutes les voies aient été entièrement explorées. En particulier, un des axes importants de recherche vise la création d'outils d'aides à la conception thermique de l'habitat, permettant de fournir à l'ensemble de concepteurs, techniciens et maîtres d'œuvre une vision aussi détaillée que possible des problèmes d'accumulation et de restitution régulée des apports solaires et des déperditions de chaleur tant sur le plan scientifique, économique, technique, architecturale et méthodologique. C'est l'un des objectifs généraux du thème de recherche. Ces outils devraient permettre une meilleure utilisation de la chaleur domestique, et plus largement une meilleure conception climatique de l'habitat (C.S.T.B. – OCOBRE 1979).

5.2 Contextes, notions de base et objectives.

Nous avons parlé de simulation numérique ; à l'heure actuelle, l'adjectif 'numérique' appelle automatiquement la notion d'informatique. Ceci dit, il convient de s'interroger sur les raisons et sur l'évolution de l'utilisation de l'informatique associée au bâtiment.

Contrairement à certaines techniques telle que la mécanique des structures, la technique du bâtiment n'a utilisé que très tardivement l'informatique. Ceci s'explique par le faible enjeu que représentait le bâtiment notamment la thermique du bâtiment avant la crise d'énergie. Aujourd'hui, l'insouciance énergétique est révolue. Les avantages de l'informatique résident dans la grande rapidité d'exécution des calculs et dans sa possibilité d'atteindre une grande précision. Cependant, dans le domaine du bâtiment, les premières utilisations de l'informatique se sont bornées à adapter les méthodes manuelles à l'ordinateur. Or, la démarche actuelle qui justifie l'emploi de l'informatique, est de s'appuyer sur les simula-

tions numériques pour obtenir des méthodes manuelles en établissant par exemple des corrélations statistiques entre quelques paramètres et résultats importants.

L'idée de prendre en compte les aspects environnementaux dans la conception des bâtiments a fait son chemin, avec la médiatisation apportée par les experts en la matière. Les exigences en matière de confort conduisent un nombre croissant de concepteurs à utiliser les méthodes numériques. Le développement de logiciels a facilité l'usage et donc la diffusion d'un très grand nombre parmi les professionnels. (Patrick Bacot, 1984).

La simulation est un outil d'analyse du comportement thermique d'un projet d'habitation. Elle peut être utilisée au stade de la conception pour appuyer les choix et valider des solutions techniques. Dans une approche d'un projet de "Basse Energie" ou "Maison Passive" la simulation permet de définir les performances exactes et les procédés à mettre en œuvre pour obtenir de bons résultats. Utilisée sur un projet défini, la simulation permet de déterminer les besoins énergétiques de l'habitation en $\text{KWh/m}^2/\text{an}$, pour avoir la correspondance de la réglementation thermique.

Le développement des outils de simulation se fait depuis plus d'une vingtaine d'années dans le domaine de la physique du bâtiment et en particulier en thermique. Il existe actuellement une multitude d'outils de simulations de par le monde. Quelques outils sont à caractère général alors que d'autres sont développés pour des études spécifiques. Une partie de ces outils atteignent de nos jours une certaine maturité (robustesse, fiabilité, champ d'application...)

Cette nécessité d'outils de simulation s'est fait sentir dans un premier temps essentiellement parmi la communauté scientifique (université, centre de recherche publics et privés) pour les raisons suivantes :

- ✓ la course vers la réduction du coût énergétique suite aux crises pétrolières,
- ✓ les exigences croissantes des occupants au niveau de la qualité de vie dans les bâtiments,
- ✓ les progrès techniques nécessitant des études de plus en plus fines pour la compréhension des phénomènes ou la conception des produits. Par

exemple, on se contente plus de travailler en fonctionnement stabilité des systèmes thermiques mais on s'intéresse aux régimes variables.

Vu l'utilité des outils de simulation sur le plan de la recherche, l'idée d'étendre leur utilisation dans le milieu professionnel s'est fait jour. Cette idée s'est appuyée sur deux faits majeurs (M,I,Husaunndee, 1999) pendant les années 80 et surtout au début des années 90, on a assisté à des progrès considérables dans les méthodes numériques, et la puissance de calcul des outils informatiques. Les chercheurs en ont fait bon usage pour apporter des améliorations importantes sur les codes de calcul (temps de calcul, finesse de résolution...) et donc augmenter les champs d'application des outils.

L'utilisation des ordinateurs s'est fortement banalisée. En effet l'ordinateur est entrain de faire son chemin dans tous les secteurs d'activités. Les ordinateurs ont leurs places chez les architectes, les bureaux d'ingénierie, les industriels et d'autres praticiens dans le secteur du bâtiment.

Enormément d'efforts sont fournis actuellement pour favoriser ce transfert d'outils de simulation. La conférence internationale de l'IBPSA²¹ tenue en 1997 était essentiellement consacrée à ce sujet.

L'activité de modélisation/simulation avec un support informatique en physique du bâtiment existe depuis plus d'une trentaine d'années. Elle résulte en une prolifération d'outils de simulation. Ces outils sont développés par des universités, centres de recherches, bureaux d'études, industriel pour usage internes ou pour être commercialisés.

Une classification des outils ne sera pas effectuée ici. Il existe un répertoire d'outils de simulation destiné à l'énergétique du bâtiment sur Internet (www.evl.cstb.fr/main/home_vl.asp), (www.institut-solaire.com/outils.htm).

Le dénominateur commun des outils listés est leur contribution pour l'utilisation rationnelle de l'énergie ou l'intégration des concepts d'énergie renouvelables dans le bâtiment. Des descriptions d'outils de simulations et quelques comparaisons ou classifications sont effectuées dans (Ebert R. And all, 1993.), et (Keilholz, W, P, 1996.).

²¹ IBPSA: International Building Performance Simulation Association)

5.3. La simulation et analyse du comportement thermique des bâtiments

Les bâtiments sont conçus pour jouer un rôle de filtre thermique permettant de recréer un microclimat intérieur indépendant des fluctuations météorologiques extérieures. La forme, l'orientation, l'agencement et la composition des éléments constitutifs déterminent les caractéristiques de ce filtre. Les ambiances intérieures ne répondant pas toujours aux exigences de confort des occupants, la réponse du bâtiment est corrigée par des appareils de climatisation ou de chauffage agissant comme des sources contrôlées de chaleur ou de froid, et ayant parfois un effet sur les taux d'humidité. Les normes de confort sont encore relativement frustrées : une consigne de température résultante moyenne à respecter pendant la période de chauffage, une température qu'il est recommandé de ne pas dépasser trop souvent pendant la saison chaude. Ces contraintes sont quelquefois affinées dans des cahiers des charges particuliers, notamment lorsqu'il s'agit de bâtiments à usage de bureaux. Dans tous les cas, les appareils de climatisation consomment de l'énergie et entraînent de ce fait des coûts de fonctionnement qui peuvent être très élevés. Ils n'arrivent d'ailleurs pas toujours à redresser complètement une mauvaise conception architecturale, des périodes d'inconfort pouvant subsister, nous en avons tous fait l'expérience un jour ou l'autre.

Les modèles décrivant le comportement thermique des bâtiments permettent de mieux comprendre et concevoir l'enveloppe passive (avant d'avoir recours à des auxiliaires d'appoints, chauffage à gaz, chauffage électrique, climatiseur) en vue d'obtenir de moindres consommations énergétiques et un plus grand confort, de prédire la réponse du bâtiment à des situations extrêmes afin de dimensionner les installations et, enfin, d'aider à mettre au point de nouveaux systèmes (composants) ou stratégies de contrôle (chauffage intermittent, commande optimale, etc.).

Le souci de rationaliser le recours à des énergies coûteuses et toxiques est de concevoir des bâtiments plus confortables, ceci a amené les différents acteurs du processus de conception et de gestion des bâtiments à chercher à en mieux con-

naître et maîtriser le comportement. C'est l'objet des méthodes de simulation et d'analyse que nous allons présenter. Pour cela, nous nous intéresserons ici aux méthodes de calcul qui permettent de modéliser les bâtiments ; il s'agit de prévoir et expliquer l'évolution de son état thermique et de prévoir les conséquences qui en découlent en réponse aux excitations que lui appliquent son environnement climatique naturel.

Les modèles de bâtiment vont ainsi permettre de représenter avec plus ou moins de pertinence et de précision les paramètres qui influent sur le confort et de calculer les énergies qu'il faut fournir pour atteindre un niveau de confort requis. L'intérêt de certains choix de conception (qui déterminent emplacement, orientation, forme, composition, etc.) et de l'ajout de composants spécifiques (serres, murs capteurs, etc.) peut aussi être évalué à l'aide de modèles qui prédisent ou confirment le comportement de l'ensemble réalisé ; la modélisation répétée de différents cas de figure génère une connaissance qui peut ensuite être mise à profit dans des méthodes de calcul simplifiées, ou dans des exemples de solutions. Savoir comment sont construits les modèles, qui servent à développer cette connaissance, donne à l'ingénieur la possibilité d'avoir un regard critique sur les méthodes qui s'offrent à lui ; il en connaît ainsi les limites et peut en contrôler l'utilisation.

Dans ce chapitre, même si nous n'oublions pas qu'un bâtiment est souvent chauffé, refroidi ou ventilé, nous ne nous intéresserons pas aux problèmes spécifiques posés par ces installations.

La simulation est en effet un outil extrêmement séduisant. Contrairement à l'expérimentation, elle permet de tout essayer, même les solutions les plus originales, car le coût marginal est faible. Pouvoir jouer avec un modèle de bâtiment en lui ajoutant des composants, en modifiant sa forme, son orientation, en le situant à des endroits différents, etc. est un vecteur d'imagination et de créativité.

La simulation permet d'évaluer une solution technique et/ou architecturale. Elle le fait avec détail, précision et pertinence. Contrairement aux méthodes de calcul simplifiées, elle fournit des résultats sous une forme identique à celle qu'auraient des mesures expérimentales sur un bâtiment réel. On injecte dans le modèle les valeurs que prennent au cours du temps des variables décrivant le

climat ; on indique les paramètres de fonctionnement du bâtiment (occupé continuellement, chauffage, etc.) et, classiquement, on obtient les valeurs prises par un certain nombre de variables d'observation (températures d'air, inertie, auvents, type de matériaux, etc.) à des moments successifs, en général régulièrement espacés, de la période considérée. Les méthodes de calcul simplifiées fournissent des résultats intégrés sur l'ensemble d'une période et se limitent à l'évaluation de besoins de chauffage ou de climatisation. Une simulation fournit aussi ces résultats mais offre de plus la possibilité de suivre l'évolution des variables d'observation. On peut ainsi analyser directement comment les courbes d'évolution des températures, des puissances, etc. sont influencées par les caractéristiques géométriques et physiques du bâtiment. La simulation permet de prévoir le coût de la consommation énergétique d'un bâtiment et d'évaluer l'intérêt de tarifications modulées, le dimensionnement d'une installation de chauffage, le respect de critères de confort, ou le bon fonctionnement d'un régulateur.

Rappelons tout d'abord brièvement les différents types de transferts de chaleur ainsi que les équations de base qui les décrivent ; pour plus de détails, on se reportera à la littérature de référence en ce domaine. (Recknagel, H, 1995).

5.4. Étude du comportement thermique de bâtiments résidentiels

La consommation énergétique des bâtiments du secteur résidentiel est difficile à estimer du fait de l'importance des apports internes et solaires, de la complexité, de la régulation du système de chauffage et de son intermittence. Dans le but de mieux appréhender leur comportement énergétique et prédire leurs besoins et consommations, une approche de modélisation et de validation expérimentale est développée sur des bâtiments à l'aide du logiciel SimulArch²² (FOURA.S, ZEROUALA M.S, 2007). Cet outil personnel développé présente une approche de simulation thermique du bâtiment allégée, c'est-à-dire adaptée aux ordinateurs personnels et vise à déterminer en régime permanent les paramètres de confort à l'intérieur du bâtiment sous l'influence des conditions climatiques externes. Le

²² SIMULARCH : Simulation Architecture. SimulArch : Enregistré à l'office Nationale des droits d'auteurs et droits Voisins (ONDA) – BREVET N° 009/06 du 18/02/2006

but de son analyse est d'avoir des résultats satisfaisants en matière de consommation d'énergie pour le chauffage et éventuellement la climatisation en été.

SimulArch est un outil informatique qui aide l'architecte dans sa conception à examiner, en modifiant quand c'est nécessaire, différents aspects du projet notamment en matériaux de construction comme il lui permet de comprendre les caractéristiques thermo - physiques et de confort du bâtiment influencées. Pour ce faire, Il considère les différents types de confort passifs et naturels d'un bâtiment suivant :

- ✓ La description du site et son climat,
- ✓ La simulation des températures externes ;
- ✓ La simulation des degrés- jours ;
- ✓ La masse du bâtiment (Brique ; Parpaing ; Béton...) ;
- ✓ Les isolants ;
- ✓ La ventilation naturelle ;
- ✓ les occupants ;
- ✓ Le contrôle du rayonnement solaire ;
- ✓ Le système de chauffage ;

Pour développer l'outil d'évaluation que nous envisageons dans notre prochaine étape de travail, trois tâches principales doivent avoir été accomplies de façon préliminaire. Premièrement, il est nécessaire d'établir la liste des paramètres d'entrée. Cela veut dire le choix des données d'entrée qui peuvent être extraites des esquisses initiales des architectes. De notre point de vue, nous retiendrons les paramètres suivants : orientation de la construction ; situation du bâtiment (altitude, latitude et longitude, dimensions,) ; composition des murs extérieurs, vent et direction, typologie de bâtiment ; surface vitrée et protection solaire de la façade principale.

La deuxième tâche consiste ensuite à déterminer le comportement du bâtiment en fonction de la variation des paramètres d'entrée. En d'autres termes, mettre en évidence les "règles expertes" qui permettront de qualifier les différentes alternatives de projet que l'architecte peut avoir à l'esprit. Pour obtenir ces règles expertes, nous pouvons étudier beaucoup de bâtiments différents avec des configurations multiples et découvrir alors les règles "Cachées" de conception.

Pour cela, nous pouvons avoir recours à la simulation numérique (Gratia, E., 2002) Malheureusement, il y a un problème connu avec ce type d'outil de prédiction, il souffre principalement d'un nombre trop limité de cas standards examinés (Shaviv, E., and, 1996). En fait, les prédictions seront aussi différentes du comportement réel du bâtiment. Pour éviter ce problème, le réalisateur du code et l'utilisateur doivent accepter que l'outil en question soit utilisé seulement pour certaines configurations du projet, c'est à dire, configurations semblables à celle utilisée pour établir les règles expertes. En d'autres termes, le code doit être un outil moins générique mais la précision des résultats sera mieux garantie. Dans notre étude, nous nous sommes limités pour cela : c'est-à-dire au type de climat et condition d'été et d'hiver ; à la typologie de la construction ; à un nombre illimité de constitutions de murs extérieurs. Compte tenu de cela, il est alors possible d'exécuter des simulations sur un prototype numérique standard sous plusieurs conditions du projet avec un outil de calcul élaboré et disposer ainsi d'une base de résultats. Dans notre cas, le programme informatique SimulArch est utilisé pour calculer la performance thermique sur les bâtiments à caractère résidentiel.

La dernière tâche principale est d'énumérer ce que nous voulons produire comme résultats et comment évaluer ces résultats pour qualifier les diverses configurations du projet choisies.

Notre but principal est de développer un outil de prédiction capable d'évaluer le confort thermique, et la consommation d'énergie globale qui doit être produite. Pour ainsi, notre code nous prédira un coût de facture logique à payer Donc, ces trois paramètres reflètent les qualités recherchées et par conséquent les résultats de calculs devant être produits par notre code. Malheureusement, ces trois facteurs sont quelquefois incompatibles. Dans la majorité des situations, fournir de la lumière naturelle à l'intérieur du bâtiment conduit à des apports solaires importants par exemple. La meilleure solution possible consiste donc à trouver un bon compromis sur le choix des différents facteurs envisagés, dont certains sont antagonistes.

5.5. Une méthode de calcul simplifié du bilan thermique du model SimulArch

Les installations de chauffage et de climatisation utilisées en Algérie sont dimensionnées à partir des méthodes de calcul de bilans thermiques mises au point pour des climats méditerranéens (Ministère de l'habitat et de l'Urbanisme – 1997), c'est à dire, présentant des fortes variations de température en cours d'année (hiver été) et des taux d'humidité relativement faibles (50 à 60%). On s'aperçoit qu'il est difficile de transposer une méthode de calcul mise au point à partir des conditions climatiques spécifiques d'une région à l'autre, car cela peut entraîner un certain nombre de problèmes sur les plans thermiques des enveloppes architecturales, énergétiques et hygrothermiques dans le bâtiment.

Tous ces aspects font que les installations de climatisation et de chauffage conçues pour les climats méditerranéens sont surdimensionnées, entraînant ainsi une surconsommation électrique et de gaz naturel dans le domaine du conditionnement d'air des bâtiments et surtout le chauffage de l'ambiance intérieure (KEMAJOU A., and all, 1992). Ceci justifie ce chapitre dont l'objectif est de mettre à la disposition des bureaux d'étude, des étudiants et des techniciens exerçant dans le métier d'architecte, des informations relatives au calcul simplifié de bilan thermique de chauffage adaptée aux climats méditerranéens.

Avant de commencer le calcul du bilan thermique, le technicien devra connaître tous les facteurs qui pourront affecter son évaluation. Des relevés précis, détaillés, complets sont à la base même du bilan. C'est à partir de la connaissance de ces éléments et si le bilan a été étudié avec soin, que l'on pourra déterminer l'installation la plus économique et la plus rassurante, compte tenu des résultats à obtenir. La prise en compte de ces différents paramètres permet d'éviter d'utiliser les coefficients thermiques lors de l'évaluation des bilans qui sont à l'origine du surdimensionnement des équipements de climatisation et de chauffage. Nous citons ci-dessous les principaux éléments à prendre en considération.

- ✓ Orientation du local : situation des locaux à conditionner par rapport aux : Points cardinaux, géographique (latitude, longitude), climatiques,
- ✓ Dimensions du local : longueur, largeur, hauteur sous plafond,

- ✓ Matériaux de construction : nature des matériaux, épaisseur des murs, toits, plafonds, planchers et cloisons
- ✓ Pour permettre l'utilisation des outils de modélisation, il faut réaliser une synthèse de la connaissance des matériaux utilisés et disponibles en Algérie. La base de données, dans un même document, mettra à disposition toutes les caractéristiques physiques nécessaires à la saisie d'un bâtiment qui ne figurent pas dans les D.T.R²³, par exemple.
- ✓ Caractéristiques des matériaux et Coefficient de convection en fonction des différents plans
- ✓ Coefficient d'absorption solaire des matériaux,
- ✓ Caractéristiques et profils des apports internes en fonction du problème posé.
- ✓ Couleurs des matériauxetc.
- ✓ Conditions extérieures au local : plancher sur sol ou sur vide sanitaire, ensoleillement maximum du local, conditions extérieures de base,
- ✓ Conditions à maintenir à l'intérieur du local
- ✓ Destination des locaux : bureau, hôpital, boutique, magasin, atelier...,
- ✓ Fenêtres : dimensions et emplacements, encadrement bois ou métal, type de vitrage,
- ✓ types de stores, dimensions des auvents, retraits des fenêtres
- ✓ Portes : emplacements, types, dimensions.
- ✓ Occupants : activités et nombres, durée d'occupation du local,
- ✓ Eclairage : type, puissance et durée d'allumage,
- ✓ Appareils ménagers, moteurs : puissance nominale ; durée de fonctionnement.etc.

5.6. Evaluation du bilan thermique

Le calcul du bilan thermique de chauffage permet de déterminer la puissance qui pourra répondre aux critères demandés. La température supposée uniforme de l'auxiliaire d'appoint est régulée. En l'absence de soleil et d'habitant, la puissance thermique fournie par l'auxiliaire d'appoint, en régime permanent doit compenser exactement les déperditions thermiques du bâtiment pour maintenir la température intérieure à T_i lorsque la température extérieure est T_e . Ce calcul s'effectuera à partir des gains réels, c'est à dire au moment où les apports calorifiques atteignent leur maximum dans le local (CARRIER Manuel, 1960) On distinguera :

²³ D.T.R : Document Technique Réglementaire du CNERIB.

Les gains internes : ce sont les dégagements de chaleur ayant leurs sources à l'intérieur du local (occupants, éclairage et autres équipements).

Les gains externes : ce sont les apports de chaleur sensible dus à l'ensoleillement et à la conduction à travers les parois extérieures et les toits.

Pour pouvoir estimer ces gains avec une précision suffisante, il est indispensable de connaître tous les éléments qui auront une influence sur le bilan. L'évaluation des charges thermiques des bâtiments à chauffer ou à climatiser est un exercice complexe qui prend habituellement beaucoup de temps et représente l'une des étapes les plus importantes dans la conception et le dimensionnement d'un système de chauffage ou de climatisation.

Le calcul précis d'un bilan thermique est long et compliqué, car les charges extérieures telles que l'insolation et la transmission varient tout au long d'une journée. La prise en compte de l'inertie du bâtiment atténue la valeur du maximum. (COSTIC, 1995) Dans le cas d'un bâtiment non isolé, pour un même type de mur, l'inertie augmente avec l'épaisseur, alors que le coefficient global d'échange U (K) diminue en réduisant la consommation énergétique du bâtiment. Dans le cas d'un bâtiment isolé, l'inertie est faible, le U (K) aussi ; mais l'épaisseur n'influence pas.

Le but de ce chapitre est d'apporter notre contribution aux efforts développés en Algérie pour limiter la consommation d'énergie par une amélioration de la structure du bâtiment. Pour ce faire, nous avons proposé des éléments de calcul des charges thermiques adaptés au climat Algérien. Une méthode simplifiée de calcul de bilan thermique a permis de présélectionner les différents paramètres. Les ratios de consommations énergétiques, d'un appartement et la méthode d'évaluation de la puissance énergétique plus les données obtenues auprès de la société nationale du gaz et d'électricité ont permis de compléter cette étude. Les modifications dans l'esquisse sont étudiées et évaluées en termes de performances énergétiques et de confort de l'utilisateur. Elles sont ensuite chiffrées en coût global à partir des simulations réalisées sur l'enveloppe pour la production de chaleur requise. Les solutions techniques et architecturales permettant de ne pas recourir totalement au chauffage ou à la climatisation seront recherchées et privilégiées.

Sixième Chapitre : Démarches de conception de l'enveloppe d'un bâtiment du point de vue énergétique

6.1 Introduction

La réalisation d'un bâtiment implique non seulement une réflexion sur la conception de sa structure afin de répondre aux exigences mécaniques, mais également de son enveloppe afin de répondre aux exigences thermiques liées au confort des futurs occupants de ce bâtiment. Ce chapitre a pour objectif d'appréhender la thermique appliquée au bâtiment, c'est-à-dire l'étude de la conception d'une enveloppe d'un bâtiment et ses conséquences sur les performances thermiques de ce bâtiment. Il a pour objet d'expliquer la nécessité de prendre davantage en compte le comportement thermique d'un bâtiment, afin d'améliorer les conditions de confort de ses utilisateurs tout en consommant le moins d'énergie possible, pour des raisons économiques et environnementales.

Un bâtiment peut être divisé en trois composantes :

Les occupants de ce bâtiment, ayant des activités diverses et donc n'ayant pas les mêmes attentes en terme de confort.

L'environnement intérieur et extérieur à ce bâtiment : Intérieur ; caractérisé par des éléments sources de chaleur (éclairage, équipement informatique...) extérieur ; caractérisé par sa température, ...

Séparant l'environnement intérieur, dans lequel se trouvent les occupants, de l'environnement extérieur, l'enveloppe du bâtiment, composée de parois de natures diverses : béton seul, parois multicouches (béton + isolant + plâtre), parois vitrées, portes...

Du point de vue thermique, ce bâtiment va devoir répondre à deux fonctions principales :

Permettre le confort thermique des occupants, quelque soit leurs activités, liée au local dans lequel ils se trouvent ($C_{\text{confort salle de bains}} \approx 23$ [°C], $C_{\text{confort séjour}} \approx 18$ [°C]..., $C_{\text{confort au repos}} > C_{\text{confort en activité physique}}$).

Limiter les consommations d'énergie, une puissance de chauffage suffisante en hiver, tout en évitant le gaspillage.

6.2. Bilan énergétique d'un bâtiment durant une saison d'hiver

Prenons l'exemple d'un bâtiment en hiver pour lequel on souhaiterait obtenir une température intérieure de 18 [°C] en moyenne pour -5 [°C] à l'extérieur, et nous pouvons constater que (Document technique réglementaire DTR C3-2 1997) le bâtiment est soumis à des pertes calorifiques vers l'extérieur, des déperditions. Ces déperditions sont proportionnelles à la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment.

De plus, ce bâtiment reçoit des apports de chaleur que l'on dit gratuits, dus à l'environnement intérieur et extérieur du bâtiment : l'éclairage, les occupants pour l'environnement intérieur, l'ensoleillement, le vent... pour l'environnement extérieur.

Les besoins calorifiques pour les occupants sont donc égaux à : Besoins = Déperditions – Apports.

Ces besoins correspondent à la puissance d'émission que l'on devra fournir pour assurer le confort des occupants (Figure 9 : Bilan thermique d'un bâtiment.).

L'installation de chauffage, qui va fournir cette puissance de chauffage, va elle-même être soumise à un certain nombre de pertes calorifiques. Ces pertes vont se localiser au niveau de la production (avec des pertes de combustion, c'est-à-dire au niveau du brûleur, à travers les parois de la chaudière, par les fumées chaudes) et au niveau de la distribution (avec des pertes au niveau de la tuyauterie non calorifugée).

Finalement, l'énergie que l'on va consommer pour notre chauffage va être égale aux besoins de chauffage + pertes calorifiques de l'installation.

$$\text{Consommation} = \text{Besoins} + \text{pertes de l'installation de chauffage.}$$

On obtient ainsi la consommation de chauffage (si l'on fait un calcul sur une saison de chauffe). On voit donc ici que la base de notre problème est le calcul des déperditions :

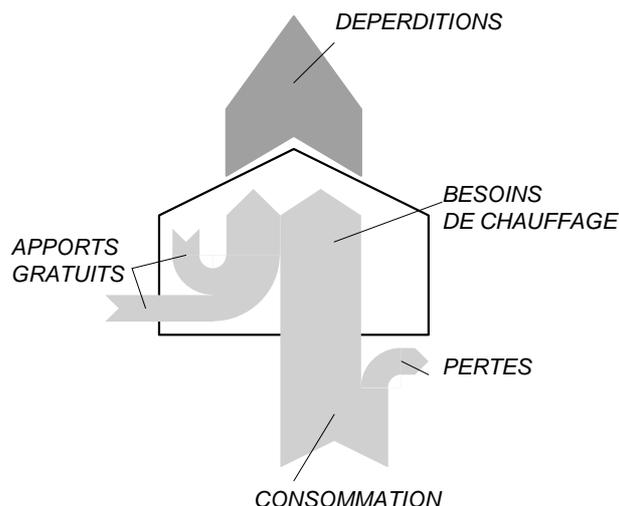


Figure 9 : Bilan thermique d'un bâtiment.

Le calcul des déperditions doit être effectué pour répondre à deux préoccupations ; ainsi, on peut dire que parmi les objectifs du calcul des déperditions :

Le calcul des déperditions qui est un outil de vérification. En effet, il faut essayer de limiter les déperditions du bâtiment dans la mesure du possible (en choisissant des matériaux adaptés pour les parois), afin d'éviter le gaspillage d'énergie pour compenser ces déperditions.

Le calcul des déperditions nous permettra d'avoir accès au calcul des consommations d'énergie, celles-ci lui étant proportionnelles, et donc nous permettra de vérifier que ces consommations restent raisonnables

6.3. Déperditions thermiques d'un bâtiment

6.3.1. Postes de déperditions

On va rencontrer des déperditions dès lors qu'on a une température différente entre le local chauffé à une température donnée et son environnement immédiat. (Figure 10: Postes de déperditions d'un bâtiment).

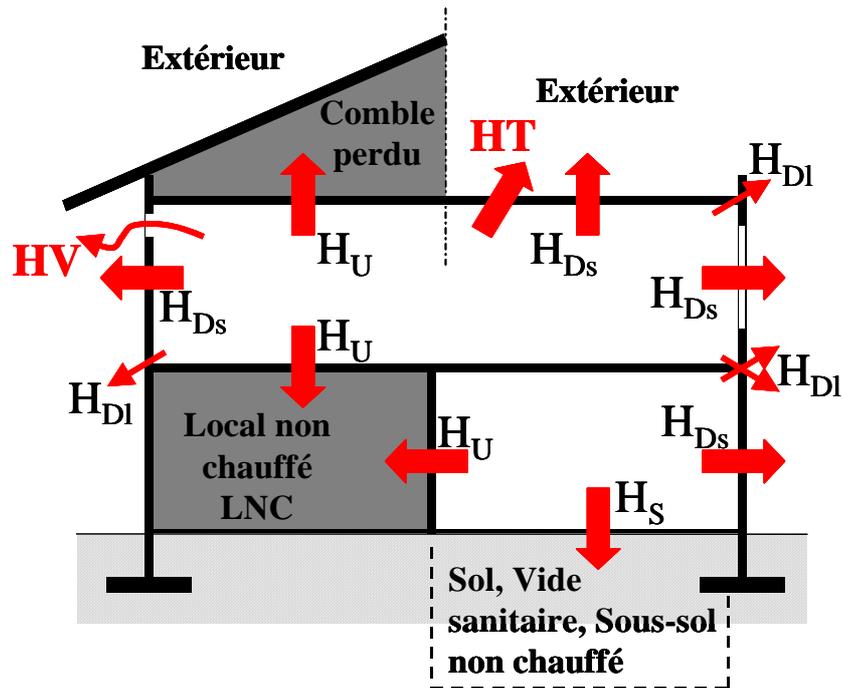


Figure 10: Postes de déperditions d'un bâtiment

On classe ces déperditions en plusieurs groupes : Déperditions par transmission par les parois HT : (Figure 11).

Directement vers l'extérieur HD : composées de déperditions surfaciques H_{D_s} , linéiques H_{D_i} et ponctuelles H_{D_p} (déperditions dues aux ponts thermiques).

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

Déperditions par renouvellement d'air HV : proportionnelles au débit d'air introduit dans le bâtiment.

Remarque : Les déperditions dépendent :

- ✓ De la température intérieure,
- ✓ De la température extérieure,
- ✓ De la qualité d'isolation du bâtiment,
- ✓ De l'apport d'air neuf hygiénique.

6.3.2. Déperditions par transmission H_T

Rappel sur la transmission de chaleur : Quelques hypothèses sont nécessaires pour effectuer le calcul des déperditions :

Régime permanent : Températures intérieure et extérieure constantes.

Température intérieure de base fixée en fonction des besoins des locaux :

$$18 [^{\circ}\text{C}] \leq T_i \leq 24 [^{\circ}\text{C}]$$

Remarque : 18 [°C] : ≈ chambre - 24 [°C] : ≈ salle de bain

Température extérieure : température de base hiver pour le calcul de la puissance de chauffage ou température mensuelle pour le calcul de la consommation de chauffage. Cette température est de plus tributaire de la région et de l'altitude.

6.3.3. Transmission surfacique :

Ceci est proportionnel au coefficient U (K) moyen de l'enveloppe, et il représente une perte d'énergie en hiver et un gain d'énergie en été. L'absorption du rayonnement solaire sur les faces externes de l'enveloppe contribue à accroître les gains en été, mais elle diminue les pertes en hiver. Cependant pour une enveloppe bien isolée, la contribution solaire est faible et normalement négligeable. (Recknaguel, 1986.)

$$\varphi_{(w)} = U_{W/m^2C} \times A_{m^2} \times (T_i - T_e)_{(c^{\circ})} \quad \text{Eq 6.3.3}$$

$\varphi_{(w)}$: Flux de chaleur traversant la paroi (flux de déperdition à travers la paroi).

U_{W/m^2C} : Coefficient de transmission surfacique du flux de chaleur à travers la paroi.

A_{m^2} : Surface de la paroi de transmission du flux.

$(T_i - T_e)_{(c^{\circ})}$: Températures intérieure et extérieure.

$$U = \frac{1}{R_{Si} + \sum_i \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{Se}} \quad \text{Eq 6.3.3a}$$

e_j : Épaisseur de la paroi de transmission. (m)

e_i : Coefficient de conductivité de la paroi, [W/m²°C]

R_{Si} et R_{Se} : Résistances superficielles d'échange entre la paroi et l'air [W/m²°C]

Le coefficient U (il est de plus en plus souvent appelé coefficient U au lieu de K, suite aux nouvelles normes Européennes dans ce domaine) de transmission de

la chaleur est fonction essentiellement de la conductibilité des matériaux. Les valeurs de référence peuvent être extraites du graphique ci-dessous. (European Passive Solar Handbook, 1986).

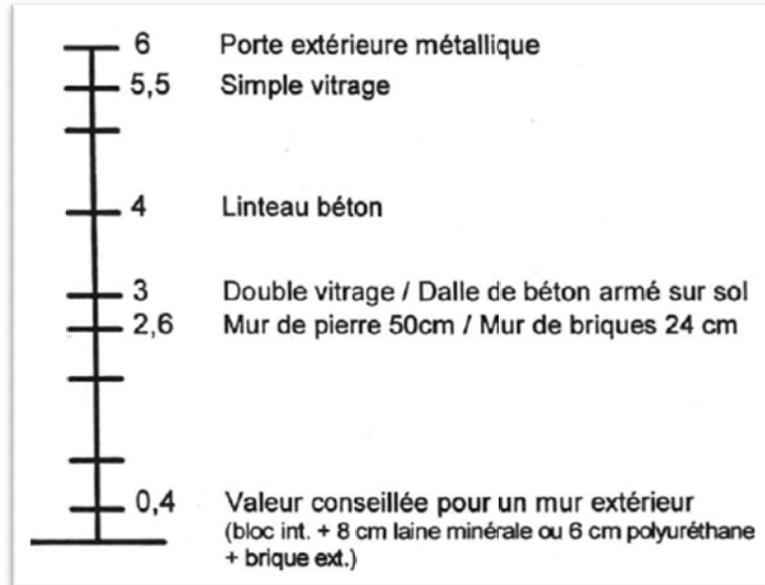


Figure 11: Valeurs de référence de U

6.3.4. Déperditions surfaciques H_{DS}

On somme toutes les déperditions sont à travers toutes les parois en contact avec le volume chauffé et l'extérieur. On peut, par simplification déterminer les flux de chaleur en $W/°C$, c'est à dire par degré d'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur, cette température étant la même pour tous les locaux.

$$H_{DS} (W/°C) = \sum U (W/m^2 °C) \times A(m^2) \quad \text{Eq 6.3.4}$$

U : Coefficient de transmission globale de la paroi ($Wh/m^2°C$)

A : Surface de la paroi (m^2)

6.3.5. Déperditions par renouvellement d'air HV

Ce terme représente la quantité d'énergie nécessaire pour porter, aux conditions intérieures désirées, l'air extérieur entrant dans le bâtiment par infiltration et ventilation. Les infiltrations dépendent de la perméabilité de l'enveloppe et ne peuvent être contrôlées que jusqu'à un certain point. Un renouvellement d'air mini-

Le renouvellement d'air est nécessaire pour obtenir un niveau acceptable de la qualité de l'air intérieur dans le bâtiment. Ce renouvellement d'air représente une perte de chaleur en hiver, et un gain de chaleur en été (Figure 12: Principe de la ventilation).

La ventilation dans un bâtiment permet d'assurer le confort des occupants en termes de qualité de l'air. Ces ouvertures sont caractérisées par la présence d'une importante surface transparente (80 % à 95 %), d'une surface opaque (5 % à 20 %) et de discontinuités entre les ouvrants ou entre ouvrants et dormant. La cote énergétique hivernale de ces composantes sera calculée en considérant les apports solaires et les déperditions par conduction et par infiltration.

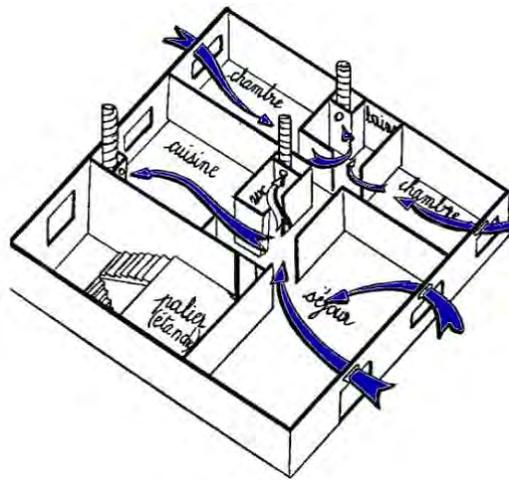


Figure 12: Principe de la ventilation

Le principe est le suivant :

Extraire l'air pollué au niveau des pièces dites humides ou techniques (salle de bain, WC, cuisine), Introduire de l'air non pollué dit neuf au niveau des pièces principales (salles à manger, chambres).

La méthode de ventilation repose sur le principe du balayage, permettant d'assurer une circulation et donc un renouvellement de l'air de toutes les pièces de l'habitation. La ventilation des bâtiments implique l'introduction d'air neuf, qu'il va falloir chauffer pour obtenir la température souhaitée dans l'habitation. On obtient donc des déperditions par renouvellement d'air qui sont proportionnelles à la différence de température entre l'air du local et l'air extérieur. Dans le cas où les déperditions par conduction et par infiltration excèdent les gains solaires, il y aura un coût de chauffage associé à cette ouverture. Plus la valeur ré-

sultante de l'énergie hivernale sera négative, plus grande sera la consommation d'énergie associée à cette ouverture.

Ces déperditions s'expriment comme suit : (DTR C 3-2, 1997).

$$\varphi = 0.34 \times (Q_v + Q_{vs}) \text{ W/}^\circ\text{C} \quad \text{Eq 6.3.5}$$

Avec : 0.34 en Wh/m³°C, est la chaleur volumique de l'air

Q_v: En m³/h est le débit spécifique de ventilation

Q_{vs}: En m³/h est le débit supplémentaire par infiltration dues aux vents.

0.34 Q_v représente les déperditions dues au fonctionnement normal des dispositifs de ventilation.

0.34 Q_{vs} en W/°C représente les déperditions supplémentaires dues au vent

6.4 Les ponts thermiques.

Nous avons repris la définition d'un pont thermique donnée dans le document relatif à la nouvelle réglementation thermique 2000, (Document technique réglementaire DTR C3-2 ,1997) : « Un pont thermique est une partie de l'enveloppe d'un bâtiment ou la résistance thermique, par ailleurs uniforme, est modifiée de façon sensible ». Plusieurs cas sont possibles. Il peut s'agir :

- ✓ De la pénétration totale ou partielle de l'enveloppe du bâtiment par des matériaux ayant une conductivité thermique différente
- ✓ D'un changement local d'épaisseur des matériaux de la paroi, ce qui revient à changer localement la résistance thermique ;
- ✓ D'une différence entre les aires intérieure et extérieure, comme il s'en produit aux liaisons entre parois.

Il existe différents types de ponts thermiques :

Les ponts thermiques linéaires ou 2D qui sont caractérisés par un coefficient linéique « ψ » exprimé en [W. m⁻¹. K⁻¹]. C'est le cas, par exemple, de la liaison en partie courante mur extérieur – plancher ou refend ;

Les ponts thermiques ponctuels ou 3D qui sont caractérisés par un coefficient ponctuel « χ » exprimé en [W. K⁻¹]. C'est le cas, par exemple, entre un plancher et deux murs de façade perpendiculaires.

Les ponts thermiques entraînent des déperditions supplémentaires qui peuvent dépasser, pour certains bâtiments, 40 % des déperditions thermiques totales à travers l'enveloppe. Un autre effet néfaste des ponts thermiques, souvent négligé, est le risque de condensation superficielle côté intérieur dans le cas où il y a abaissement des températures superficielles à l'endroit du pont thermique.

Le terme “ponts thermiques” désigne des points de la construction où la barrière isolante est rompue, pour des raisons de mise en œuvre défectueuse ou de manque de rigueur dans la conception de l’ouvrage. Les ponts thermiques se situent généralement aux points de raccord des différentes parties de la construction : nez de planchers, linteaux au-dessus des ouvertures, nez de refends ou de cloisons en cas d’isolation par l’intérieur en réhabilitation... Dans ce chapitre nous nous intéresserons seulement aux ponts thermiques 2D. Ponts thermiques dans les bâtiments (Norme NF, 1996), (Figure 13)

).

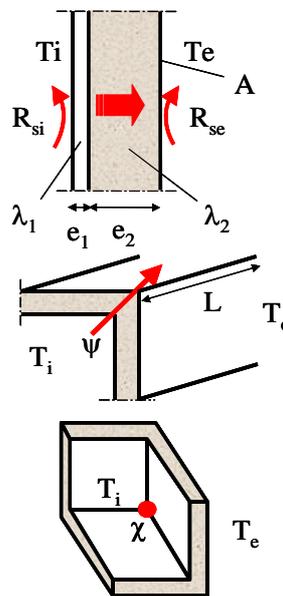


Figure 13: Ponts Thermiques

$$\varphi (w) = \beta (w/m^{\circ}C) \times L(m) \times (T_i - T_e)(^{\circ}C) \quad \text{Eq 6.4}$$

$\beta \left(\frac{w}{m}^{\circ}C \right)$: Coefficient de transmission linéique du flux de chaleur.

L : longueur du pont thermique

Dans la Nouvelle Réglementation Thermique française [Arrêté du 29 novembre 2000 relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments.] (RT 2000), le calcul des déperditions par les ponts thermiques ainsi que l'aspect des transferts thermiques dans le bâtiment tiennent une place importante.

Le traitement des ponts thermiques est une préoccupation importante des législateurs français et des valeurs de plus en plus draconiennes de transmissions linéiques ψ vont être imposées aux concepteurs de bâtiments dans les textes réglementaires en projet. Aussi l'existence d'un outil de simulation permettant de quantifier les déperditions par les ponts thermiques et pouvant être utilisable par les bureaux d'études comme par les enseignants ou les étudiants concernés par ces problèmes est primordiale.

Les objectifs sont toujours de réduire les déperditions et améliorer le confort des occupants : donc trouver des systèmes de liaisons réduisant les ponts thermiques ou des arrangements de couches, permettant d'obtenir une meilleure restitution de l'énergie gratuite à l'intérieur du bâtiment au moment de son occupation ou bien un meilleur confort en période estivale.

La réglementation thermique française s'est intéressée au développement d'outils numériques permettant de calculer très rapidement les coefficients linéiques ou connaître l'influence de la combinaison des couches d'une paroi. (ARCHICUBE et CODYMUR, 2003).

ARCHICUBE et CODYMUR ont pour objet de faire le calcul de coefficients linéiques de ponts thermiques 3D du bâtiment. La géométrie est composée par assemblage de parallélépipèdes, le calcul se fait ensuite rapidement sur un maillage défini automatiquement.

6.5. Quelques cas de ponts thermique

Les flux de chaleur traversent perpendiculairement des surfaces ; mais un local n'est pas parfaitement homogène et clos comme une boîte. La déperdition calorifique de ce mur n'est pas seulement la somme de flux traversant le béton et le flux traversant la vitre. Tout le monde sait par expérience que, si parfaite soit la

construction, il existe toujours une fuite de chaleur autour d'une fenêtre. On estime la chaleur perdue autour des ouvertures par la formule suivante :

$$K_g = \left(K \times S + \sqrt{\frac{k}{L}} \right) \times \frac{1}{S} \quad \text{Eq 6.5}$$

S : la surface de la paroi considérée.

K_g : Coefficient de transmission global des parois opaques

L : la longueur de la liaison mesurée sur les surfaces internes des murs.

k: Coefficient de transmission thermique linéique

Quelques exemples de ponts thermiques retenus dans SimulArch :

K: Coefficient de transmission thermique de la fenêtre

Le cas isolation par l'intérieur est (en général) plus favorable (Albert Bondil et Jean Hrabovsky ,1978.).

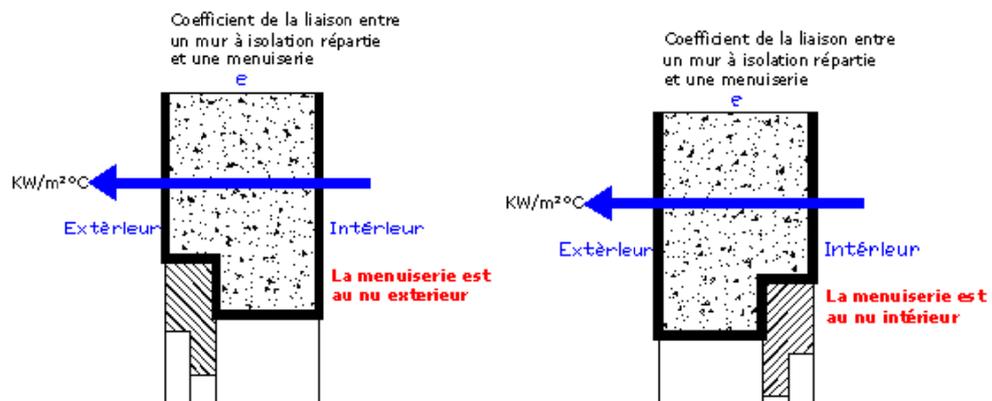


Figure 14: Coefficient de la liaison entre un mur à isolation répartie et une menuiserie (Annexe Tableau)

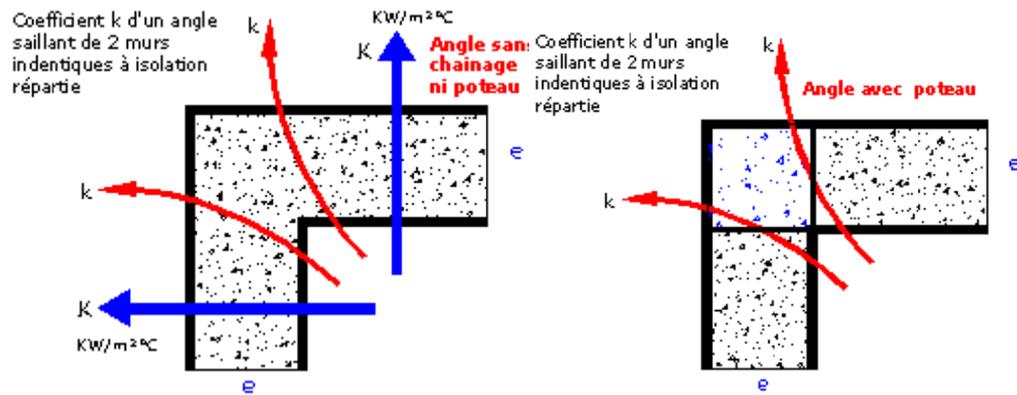


Figure 15: Coefficient k d'un angle saillant de deux murs identiques à isolation répartie. (Annexe Tableau)

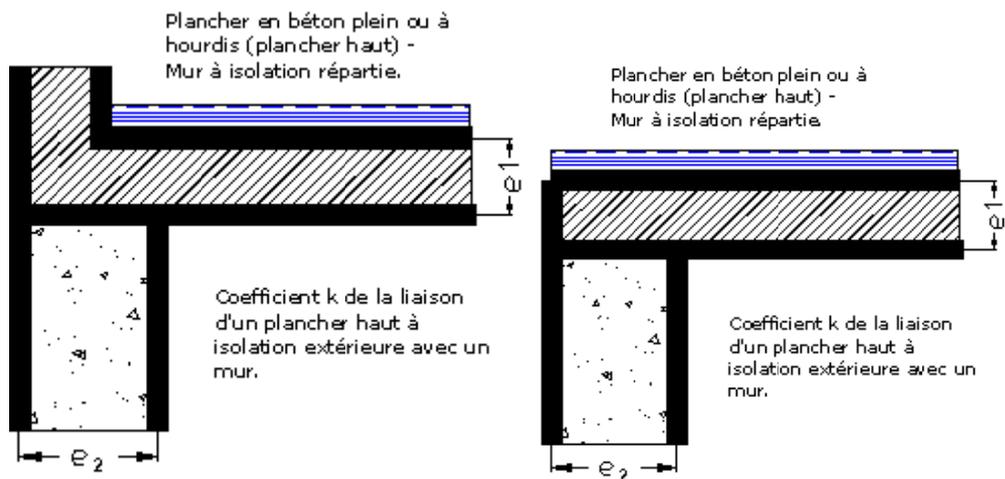


Figure 16: Coefficient k de la liaison d'un plancher haut à isolation extérieure avec un mur (Annexe Tableau)

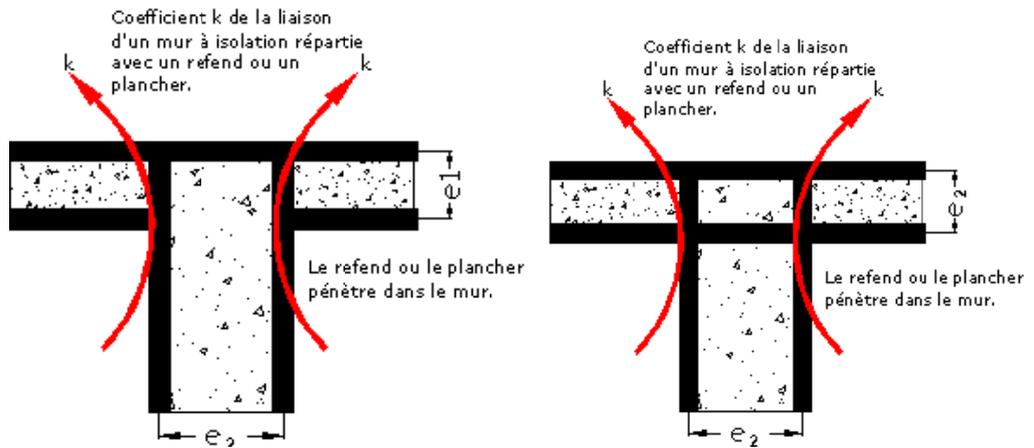


Figure 17: Coefficient k de la liaison d'un mur à isolation répartie avec un refend ou un plancher Annexe Tableau)
(Le refend ou le plancher pénètre dans le mur)

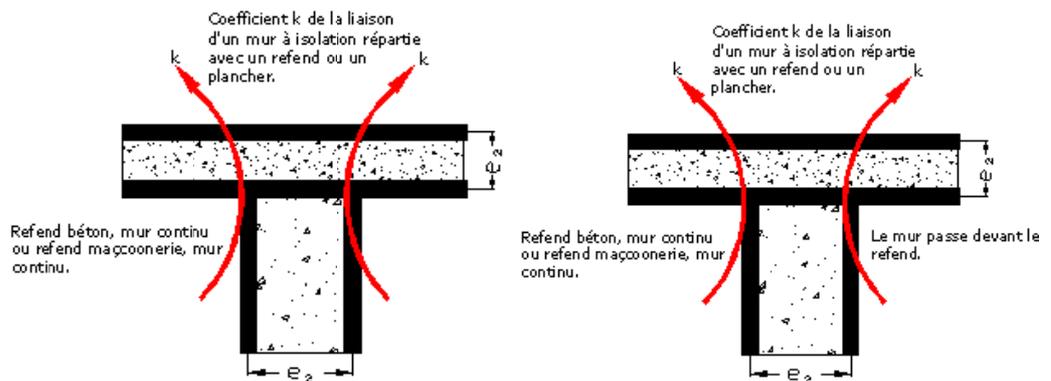


Figure 18: Coefficient k de la liaison D'un mur à isolation répartie
(Le mur passe devant le refend)

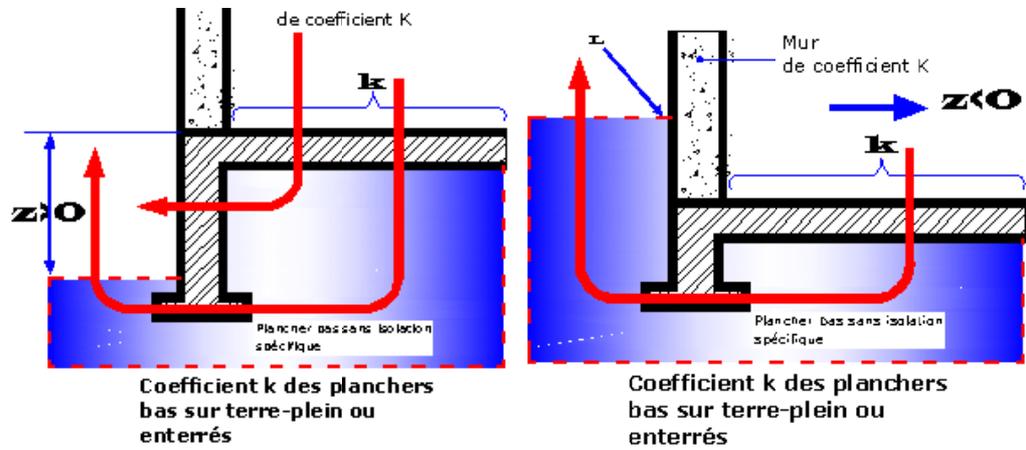


Figure 19: Coefficient k des planchers bas sur terre-plein ou enterrés (Plancher bas sans isolation spécifique)

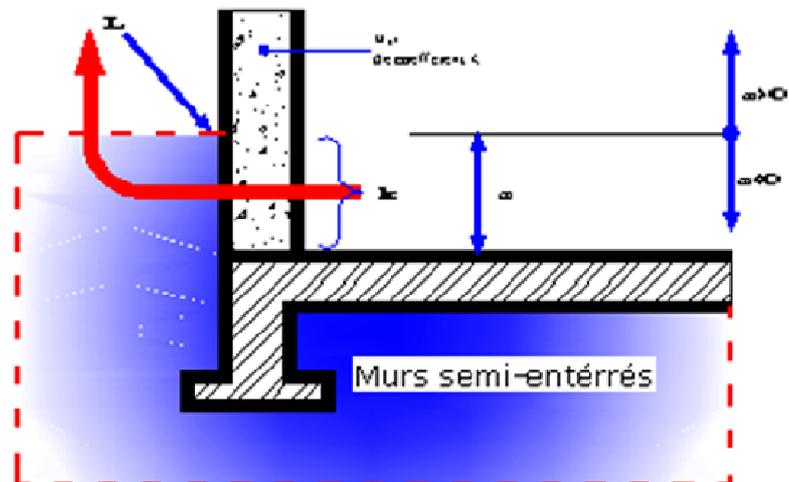


Figure 20: Coefficient k des murs enterrés

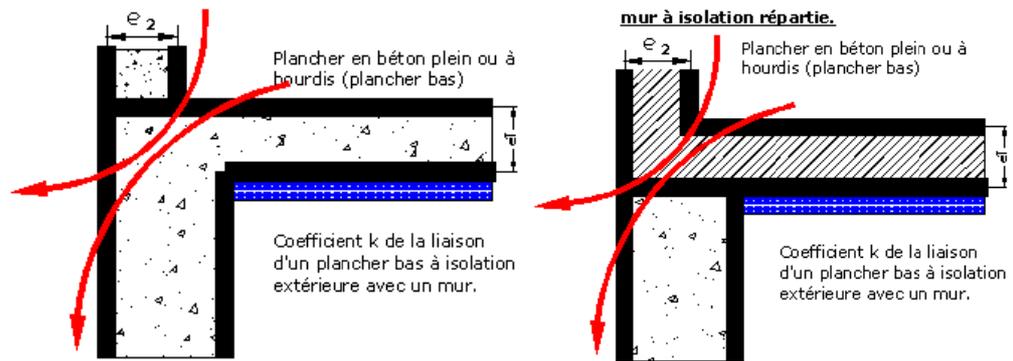


Figure 21: Coefficient k de la liaison d'un plancher haut à isolation extérieure avec un mur

6.6. Les apports internes

6.6.1 Les consommations domestiques

Cela présente toutes les sources de chaleur situées à l'intérieur du bâtiment, notamment les occupants, luminaires, appareils et autres équipements. Ces sources résultent des activités normales se déroulant à l'intérieur. Ce terme représente aussi toujours un gain de chaleur. Les gains internes représentent la chaleur libérée à l'intérieur d'un bâtiment par les occupants, l'éclairage, les appareils électroménagers, et les installations. Ces gains, souvent mal estimés, peuvent contribuer à l'élévation de la température intérieure du bâtiment et influencer ainsi les besoins en chauffage et en climatisation. Cette section présente une analyse des méthodes de calcul de ces apports de chaleur et de leur récupération. (Samir FOURA, 1987.). En régime permanent, il est facile de démontrer que les gains thermiques peuvent s'écrire de la manière suivante :

La puissance interne due à l'occupation (W) + La puissance solaire transmise par les vitrages (W) + La puissance solaire transmise par les parois opaques (W). Par ailleurs, l'enquête dans le secteur résidentiel menée par l'APRUE (Figure 22: APRUE, 1999 Algérie), le secteur représentait 32% de la consommation énergétique finale

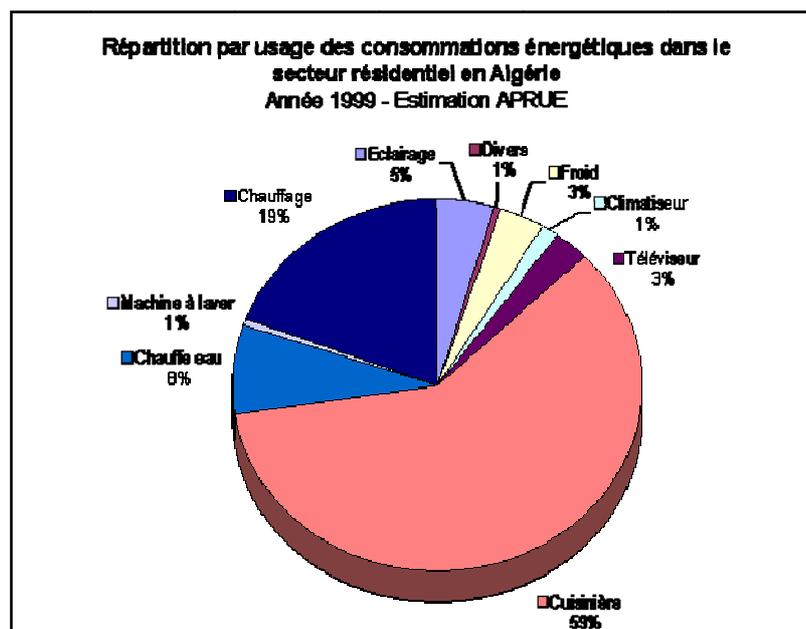


Figure 22: APRUE, 1999 Algérie

L'analyse des bilans énergétiques résidentiels a permis de mettre en avant un certain nombre de cibles et d'actions prioritaires dans le cadre d'une politique soutenue de maîtrise de l'énergie par la Sonelgaz. L'enjeu est bien entendu de freiner la croissance des consommations énergétiques. A titre d'exemple, ci-dessous, quelques actions qui peuvent faire l'objet d'un programme de maîtrise d'énergie notamment dans les secteurs du résidentiel :

- ✓ La sensibilisation sur les temps de cuisson par de la communication auprès du grand public ;
- ✓ La promotion de cuisinières équipées de différentes tailles de brûleurs ;
- ✓ Le développement de l'isolation des habitations dans les zones montagneuses ;
- ✓ L'introduction des chauffe – eau solaires dans le résidentiel ;
- ✓ L'introduction massive des Lampes Basse Consommation dans les ménages algériens, les LBC²⁴ consommant 5 fois moins qu'une ampoule à incandescence classique ;
- ✓ La promotion des réfrigérateurs et congélateurs mieux isolés qui consomment deux à trois fois moins que les équipements classiques

²⁴ Lampe Basse Consommation.

- ✓ La sensibilisation du grand public à la non mise en veille des téléviseurs, action qui peut permettre jusqu'à 30% d'économie d'électricité par ménage.

Il fallait pouvoir comprendre pourquoi la consommation domestique coûtait si cher, quels appareils en étaient la cause, et ce que l'on pouvait faire pour améliorer la situation. La seule solution c'est mesurer. Très peu de campagnes de mesures ont été conduites au monde jusqu'ici, et paradoxalement, on sait peu de choses précises sur la consommation des appareils électriques. Le financement de certaines campagnes a été assuré par la Communauté Européenne, l'ADEME²⁵ et EDF²⁶.

A ce jour, une très importante campagne est achevée : CIEL²⁷ (OLIVIER SIDLER, 1998). C'est l'une parmi les plus importantes du monde par sa taille et ses résultats. Elle a permis de suivre 874 appareils dans 114 logements pendant un mois. Parmi les principaux résultats de la campagne CIEL on retiendra : La création d'une base de données sur les caractéristiques et le comportement de tous les appareils existants, le (Tableau 2) présente les résultats obtenus à travers ces différentes campagnes. Ce type de comparaison très brute a des limites évidentes, notamment pour les appareils dont la taille peut varier beaucoup (production de froid). Il renvoie à des tentatives d'explication qui dépassent le cadre de la présente étude, mais qui ont partiellement été entreprises dans le rapport final de l'opération CIEL. (Union Européenne O.SIDLER ADEME, Consommations consolidées des appareils ordinaires Ecodrome).

²⁵ ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, France

²⁶ EDF : Electricité de France

²⁷ CIEL : Consommations Individualisées d'Electricité dans les Logements, France

Appareils	Type de consommation	Unités	Nutek (Suède)	CCE (Portugal)	Ciel (France)	Ecodrome (France)	Electricity Association (G.B.)
Réfrigérateurs	conso totale	(kWh/an)	485	274	370	362	320
	conso/hab/an	(kWh/hab/an)				103	
	conso/m ² /an	(kWh/m ² /an)				4,5	
Réfrigérateurs congélateurs	conso totale	(kWh/an)	763	622	570	721	655
	conso/hab/an	(kWh/hab/an)				190	
	conso/m ² /an	(kWh/m ² /an)				8,9	
Congélateurs	conso totale	(kWh/an)	1048	729	614	619	615
	conso/hab/an	(kWh/hab/an)				167	
	conso/m ² /an	(kWh/m ² /an)				7,8	
Lave-Linge	conso totale	(kWh/an)	315	145	234	262	240
	conso/hab/an	(kWh/hab/an)				67	
	conso/m ² /an	(kWh/m ² /an)				3,2	
Lave-vaisselle	conso totale	(kWh/an)	568	284	280	290	360
	conso/hab/an	(kWh/hab/an)				84	
	conso/m ² /an	(kWh/m ² /an)				3,7	
Sèche-linge	conso totale	(kWh/an)	372		437/698	373	260
	conso/hab/an	(kWh/hab/an)				78	
	conso/m ² /an	(kWh/m ² /an)				4,3	
TV (poste principal)	conso totale	(kWh/an)		152	138	201	
	conso/an/hab	(kWh/hab/an)				54	
	conso/m ² /an	(kWh/m ² /an)				2,5	
Eclairage	conso totale	(kWh/an)				346/500	
	conso/hab/an	(kWh/hab/an)				90/130	
	conso/m ² /an	(kWh/m ² /an)				4,3/5,9	
Halogènes	conso totale	(kWh/an)			311	244	
	conso/hab/an	(kWh/an/hab)				68	
	conso/m ² /an	(kWh/m ² /an)				3,0	
Chaudières murales	conso totale	(kWh/an)				289	
	conso/hab/an	(kWh/hab/an)				77	
	conso/m ² /an	(kWh/m ² /an)				3,5	
VMC	conso totale	(kWh/an)				311	
	conso/hab/an	(kWh/hab/an)				78	
	conso/m ² /an	(kWh/m ² /an)				3,7	

Tableau 2: Consommation des usages spécifiques de l'électricité dans le secteur résidentiel. Résultats des différentes campagnes de mesures européennes

La découverte de consommations insoupçonnées, à titre d'exemple, CIEL a constaté que la consommation électrique d'une chaudière individuelle, dont le circulateur n'était pas asservi au thermostat d'ambiance, pouvait être le premier poste de consommation d'un logement, ou bien qu'il existait dans les réfrigérateurs. Dans les congélateurs, une résistance chauffante dans le réfrigérateur des-

tinée à provoquer le démarrage du compresseur pour assurer la température dans le congélateur. Mais la surprise la plus importante est peut-être la découverte des consommations de veille de certains appareils. Il s'agit de la consommation d'appareils qui sont pourtant à l'arrêt. Parmi ces consommations il y a celle des TV mises en route au moyen de la télécommande (10 à 15 W en permanence, soit 125 kWh/an), celle des magnétoscopes (10 à 15 W) que l'on pourrait pourtant parfaitement arrêter. Rien que pour le site audiovisuel (TV, magnéscope, etc.), CIEL a observé des consommations de veille jusqu'à 51 W en permanence, soit 450 kWh/an (soit 15 % de la consommation totale pour un service rendu nul). Or tous ces appareils pourraient être débranchés lorsqu'ils ne fonctionnent pas. (OLIVIER SIDLER, 2000), (Figure 23).

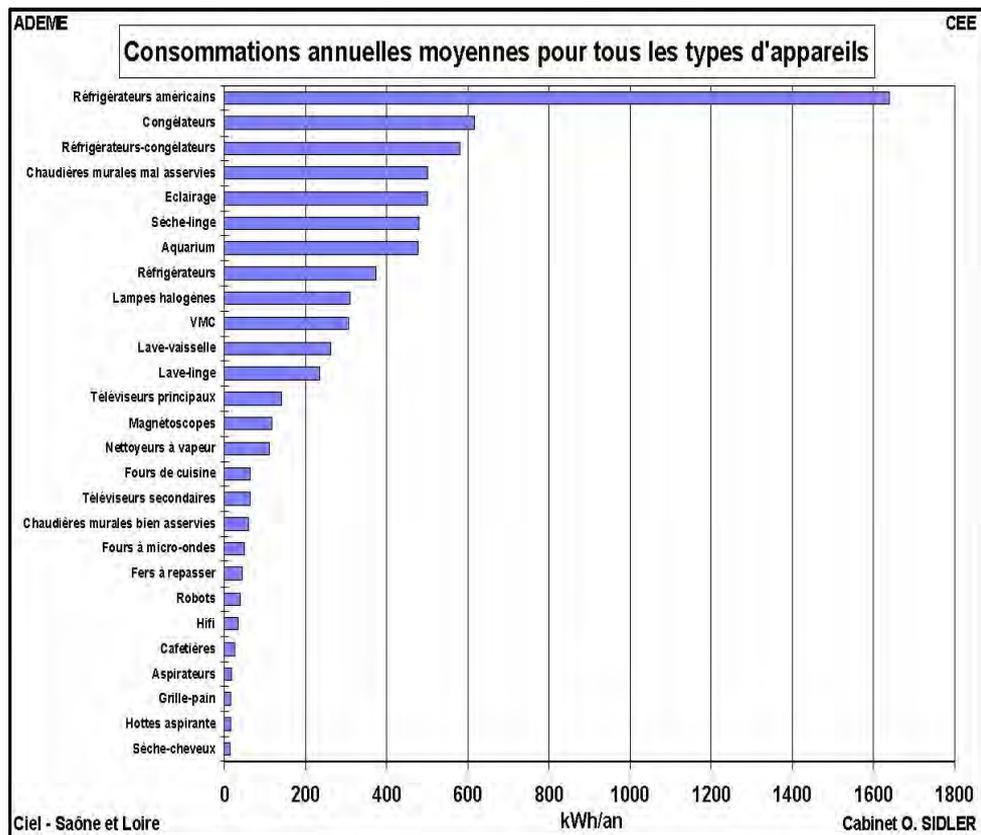


Figure 23: consommation annuelle moyenne des appareils électroménagers

6.6.2 Les gains externes

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

sure, à travers les parois opaques. L'énergie solaire étant souvent plus importante au moment où elle est moins nécessaire, et les apports internes parfois élevés, il est intéressant de stocker toute cette énergie jusqu'au moment où le besoin s'en fait sentir. L'inertie de chaque matériau (plancher, paroi,...) permet d'absorber les fluctuations suivant sa capacité d'accumulation. La distribution peut se réaliser naturellement lorsque la chaleur accumulée dans un matériau durant la période d'ensoleillement est restituée à l'air ambiant par convection et rayonnement ; par thermo circulation de l'air ; mécaniquement. (R. Cadiergues, 1986).

6.6.2.1. L'importance du facteur solaire.

En climat froid ou frais, on s'efforcera de conserver toute la chaleur, qu'elle provienne de l'ensoleillement, d'apports internes ou d'un système de chauffage, aussi longtemps que possible à l'intérieur du bâtiment. C'est essentiellement la forme et l'étanchéité de l'enveloppe, ainsi que les vertus isolantes de ses parois qui limiteront les déperditions thermiques. Ainsi, le facteur solaire est la proportion de l'énergie solaire qui entre à l'intérieur d'un bâtiment comparé avec l'énergie reçue à l'extérieur de la paroi vitrée ; idéalement, le facteur solaire doit être élevé en hiver pour que le bâtiment puisse bénéficier des apports solaires et bas en été pour éviter les surchauffes ;

Un coefficient définit la conductivité du vitrage, il doit être le plus bas possible en hiver pour réduire les déperditions thermiques. Le rapport entre le 'facteur solaire' et le coefficient K est différent pour chaque type de vitrage et il faut choisir les caractéristiques thermiques nécessaires pour assurer un niveau de confort intérieur optimal avec une consommation d'énergie minimale ; mais en réalité les caractéristiques idéales changent entre le jour et la nuit et suivant les saisons. Par exemple : un vitrage réfléchissant est souvent utilisé pour éviter les surchauffes, mais il réduit l'éclairage naturel également et il a un comportement totalement négatif en hiver, car il réduit les apports solaires sans améliorer l'isolation thermique.

Avec des volets bien conçus, il devient possible de varier les flux d'énergie suivant les besoins, en passant des apports solaires maximaux à des déperditions thermiques minimales. Le facteur solaire peut être modifié, suivant les besoins

de l'éclairage et les déperditions thermiques qui peuvent être largement réduites en fermant les persiennes la nuit. Le niveau de confort recherché est assuré en utilisant des persiennes méditerranéennes (parfois la Moucharabieh) associées avec des vitrages et des menuiseries courantes.

6.6.2.2. Bilan thermique solaire

Durant la période estivale, les apports thermiques de l'extérieur ne sont pas seulement dus à la transmission thermique par les parois en fonction du Δt , différence de température entre l'extérieur et l'intérieur mais aussi par insolation (rayonnement solaire). Cette insolation n'est pas prise en compte pour le calcul des déperditions thermiques hivernales car négligeable et ceci d'autant plus que les températures de base, servant à définir le ΔT , sont des températures relevées principalement la nuit (souvent constatées au levé du jour).

Pour le calcul des charges, l'inertie thermique du local joue un grand rôle dans la restitution du flux solaire. Deux paramètres traduisent le phénomène de l'inertie thermique. Le premier de ces paramètres est le déphasage. Le déphasage est la différence entre le moment où il y a transmission thermique instantanée maximale sur une paroi et le moment où cette paroi fournit le maximum de chaleur au local. Le second est l'amortissement. L'amortissement est le rapport de l'énergie fournie par la paroi au local sur l'énergie due à l'ensoleillement reçu par celle-ci. Le déphasage implique que l'énergie restituée par la paroi au local est moins importante que celle reçue par cette dernière lors de l'ensoleillement. Donc, une forte inertie induit un déphasage important ainsi qu'un amortissement important. Les charges totales estivales comprennent 5 types principaux de charges thermiques (VRIEND A.B.De, 1984). Les charges thermiques par les parois vitrées, qui sont souvent prépondérantes. Les charges thermiques par le rayonnement solaire par les parois opaques. Le calcul des charges thermiques dues aux parois vitrées peut être scindé en deux parties :

- ✓ Les charges dues à l'ensoleillement (flux direct et diffus).
- ✓ Les charges dues à la transmission thermique (conduction et convection).

Lorsque le rayonnement solaire atteint une paroi vitrée, une partie du flux solaire est réfléchi. Cette partie d'énergie n'est pas transformée en chaleur et n'est pas prise en compte dans les calculs. Une partie est absorbée par le vitrage, cette partie d'énergie se transforme en chaleur et est transmise au local par convection au sein de la couche limite superficielle intérieure (il en est de même pour le coté extérieur). Une partie est transmise au local, Cette dernière partie atteint les éléments intérieurs comme les parois opaques (murs, planchers) et le mobilier. A ce moment là, cette énergie est dégradée en chaleur ce qui induit une augmentation de la température du local. La charge thermique transmise au local par les parois vitrées peut être relativement importante voir même prépondérante sur la charge totale. De ce fait, il est nécessaire de l'estimer de la façon la plus précise possible. Selon l'inertie du local, la prise en compte du flux solaire instantané n'est pas la plus adaptée, car plus l'inertie est grande, plus les apports thermiques sont amortis et différés, rendant la charge plus uniforme dans le temps. La prise en compte du flux solaire instantané peut conduire à un surdimensionnement des charges qui va forcément influencer sur le dimensionnement du système de climatisation et sur son coût d'exploitation. La méthode présentée ici donne des valeurs calculées qui prennent en compte le flux solaire direct et diffus et ces valeurs intègrent le déphasage et l'amortissement des apports thermiques effectifs par rapport aux apports thermiques instantanés. Ceci demande donc de connaître l'inertie du local. C'est donc pour cette raison et selon l'inertie du local, que des valeurs sont supérieures à zéro après le couché du soleil. Ces valeurs traduisent donc bien l'effet de la transmission du flux solaire par les parois vitrées sur le local et non la charge instantanée. On trouvera ces valeurs calculées dans les tableaux Annexe Apports vitrages.

$$Q_{vt} = K \times S \times (T_e - T_i) \quad \text{Eq 6.6.2.2}$$

Q_{vt} : Apport par vitrage ; par transmission (W)

S : surface de la vitre (m²)

K : Coefficient de la transmission de chaleur de la vitre (W/ m²°C), (Tableau Annexe)

Δh : Coefficient donné en fonction de l'heure solaire.

T_i : Température intérieure du local (°C)

T_e : Température extérieure avec $T_e = T_b - E \times \Delta h$ (°C)

T_b : Température de base du lieu considéré, (Annexe Tableau 53)

E : écart diurne, représente la différence entre la température maximale à 15H et la température minimale à 4H du matin. (Tableau 3: Ecart Diurne à Constantine) et (Tableau 54), Voir Annexe tableau).

Code_wilaya	25	selectionner climat exterieur	
Wilaya	CONSTANTINE		
Latitude	36.17		
Altitude	0		
Temp_base_hiver	2		
Temp_base_ete	38		
Condition meteorologique			
	<input type="radio"/>	Ciel pur	
	<input checked="" type="radio"/>	Condition normale	
	<input type="radio"/>	Zone industrielle	
A	0.88	B	0.26
Ecart_diurne	15		
Albedo	0.2		

Tableau 3: Ecart Diurne à Constantine (Source SimulArch).

Lorsque les rayons du soleil atteignent une paroi opaque, une partie du flux solaire est réfléchi ($R_{\text{réfléchi}}$), et une partie est absorbée ($A_{\text{absorbé}}$) par les différents matériaux qui constituent la paroi opaque. Il n'y a pas de flux transmis puisque la paroi est opaque au rayonnement. Ce flux absorbé (l'énergie est dégradée en chaleur) est d'autant plus grand que la couleur du parement de la paroi est sombre. L'inertie de la paroi conditionne le temps de réponse (transmission de la chaleur au local). Plus l'inertie est grande, plus les apports thermiques sont amortis et différés dans le temps. Pour calculer les apports dus à l'ensoleillement des parois opaques, et pour prendre en compte l'inertie de ces dernières, la méthode de calcul présentée ici intègre le flux solaire et les caractéristiques des parois opaques (capacité d'absorption et inertie). (Recknagel Sprenger, 1980)

$$Q_s = (S_s I_G + S_o I_d) \times F \times C \times K_1 \quad \text{Eq 6.6.2.2a}$$

I_G : Intensité du flux global solaire à travers une vitre (W/m^2)

I_d : Intensité du flux diffus solaire à travers une vitre (W/m^2)

$$I_G = I_D + I_d \quad (w) \quad \text{Eq 6.6.2.2b}$$

I_D : Flux solaire direct reçu par une surface quelconque (W/m^2)

I_d : Flux solaire diffus reçu par une surface quelconque (W/m^2)

F : Coefficient de correction en fonction du type de menuiserie (Tableau 51)

C : Coefficient de correction fonction de la protection solaire (Tableau 52: Coefficient de Correction en fonction des protections solaires)

K_1 : coefficient de correction en fonction de l'épaisseur de la vitre (Tableau 49: Coefficient K des vitrages)

6.7. Nécessité du contrôle de l'ensoleillement en architecture

De nombreux architectes ont mis en œuvre des formes et objets architecturaux destinés à contrôler l'ensoleillement ; cela s'est traduit en général par la façade épaisse (L. Kahn, J.L. Sert, Le Corbusier), par le concept des débords (F.L. Wright, R. Neutra, M. Breuer), ou par la création de brise-soleil (Le Corbusier, O. Niemeyer). Cela se prolonge aujourd'hui avec l'architecture "High Tech" (N. Foster). Toutes ces formes répondent plus ou moins efficacement à leur fonction. Cette "efficacité", notion qui doit être appréciée en fonction du climat local, dépend à la fois de la géométrie de la forme en question, mais aussi de l'orientation de la façade et de la latitude sous laquelle le bâtiment se trouve. (Marc-André VELAY-DABAT, 2004). Les architectes d'aujourd'hui semblent avoir perdu la conscience de ce problème, et s'en remettent le plus souvent au hasard. Contrôler l'ensoleillement, c'est donc se donner un minimum de moyens pour vérifier que le dessin en cours correspond bien à un effet voulu : cela vaut pour toutes les formes (auvents, balcons, décrochements, loggias, patios), et pour tous les écrans solaires (lames horizontales, verticales, claustras).

6.7.1. Protection Solaire

Sa mauvaise prise en compte peut conduire à la fois à des situations très inconfortables pour les occupants en plein été, ou même en mi-saison et à des recours ; dès la conception ou après réalisation ; à des systèmes de climatisation

dont on aurait pu, peut-être, se passer ou limiter les puissances installées. La protection solaire des parois vitrées peut se faire à la fois par le vitrage lui-même (caractérisé notamment par son facteur solaire, FS) et par les différentes protections, extérieures ou intérieures, fixes ou mobiles, que l'on peut leur associer. En été, le rayonnement solaire traverse les surfaces vitrées de l'enveloppe (portes et fenêtres), augmentant ainsi la charge thermique du bâtiment. Différents dispositifs de protection solaire permettent de réduire cet impact :

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

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

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

Confort thermique : en été, limiter la pénétration du flux solaire énergétique et ainsi éviter autant que possible les surchauffes et/ou limiter les consommations de climatisation. En hiver, favoriser les apports d'énergie solaire pour diminuer les consommations de chauffage. Bien entendu, l'utilité des baies ne se limite pas à ces deux fonctions, on peut citer entre autres des fonctions esthétiques, de sécurité (protection contre l'effraction, résistance aux chocs...), d'occultation, etc.

Une bonne protection solaire doit intercepter le rayonnement incident et ne pas trop l'absorber afin d'éviter tout échauffement de la protection elle-même. Le rayonnement absorbé doit donc être majoritairement réfléchi. Les exigences thermiques d'une baie équipée de sa protection se mesurent en fonction de son facteur solaire. Le facteur solaire d'un vitrage, équipé ou non d'une protection,

est défini comme étant la proportion du flux énergétique que le vitrage et sa protection laisse passer par rapport au flux énergétique incident (Figure 24). Le facteur solaire est la somme de la partie transmise du flux énergétique et de la partie absorbée réémise vers l'intérieur du local. (PR NF EN 13363-1 1999, PR NF EN 13363-2 2002, et FASOL_V)

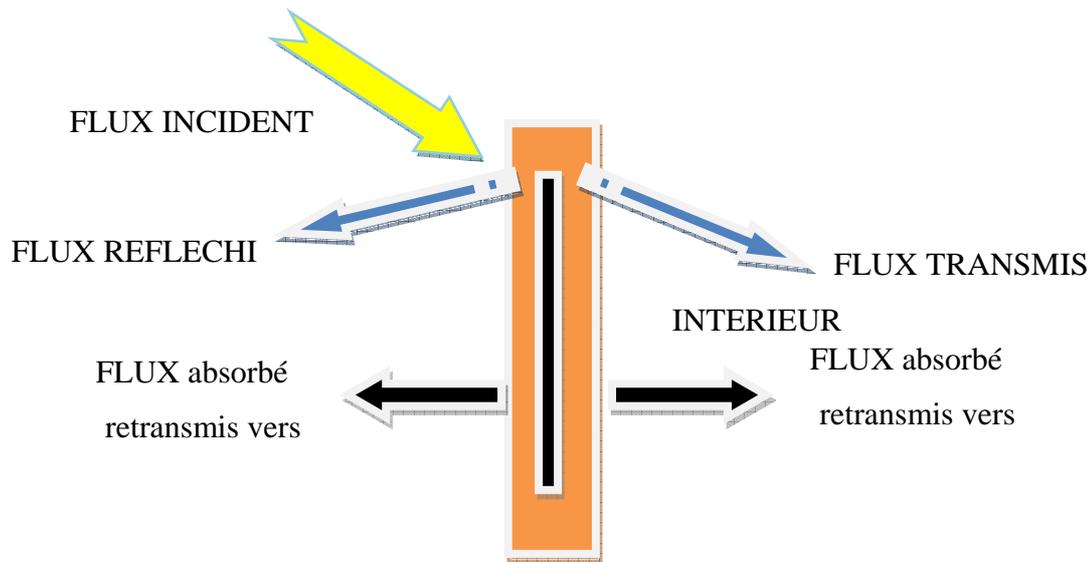


Figure 24 Composés du rayonnement solaire

6.7.2. Inertie thermique

L'énergie apportée par le soleil sous forme de chaleur est d'autant plus forte que le soleil est haut dans le ciel. Le 21 juin (solstice d'été) devrait faire le plus chaud, car c'est à cette date que le soleil est le plus haut dans le ciel et que son énergie apportée est maximale. Théoriquement, le 21 juin devrait donc être situé au milieu de l'été (et le 21 décembre le milieu de l'hiver). L'inertie d'un bâtiment est une fonction directe de sa capacité thermique, donc du produit de la masse de tous ses composants par leur chaleur spécifique massique. Cette capacité thermique, pour autant qu'elle soit correctement mise en œuvre (c'est à dire en respectant certaines surfaces d'échange), agit concrètement comme un amortisseur, c'est à dire qu'elle tente de s'opposer à toutes les variations brutales de température. Mais c'est aussi, comme un amortisseur, un grand absorbeur d'énergie. La capacité thermique d'un bâtiment constitue en fait un grand stoc-

kage de chaleur. La plus grande partie de la chaleur qui est entrée dans le bâtiment est accumulée par cette capacité thermique. Plus elle est élevée (donc plus la « masse » du bâtiment est importante), plus l'élévation de température de cette masse sera faible pour accumuler une quantité d'énergie donnée. La capacité thermique du bâtiment apparaît bien comme un amortisseur de variation des températures. Dans des locaux à occupation continue, cette caractéristique va permettre « d'étaler » au cours d'une journée la restitution aux locaux de la chaleur reçue en abondance à un moment de la journée.

De manière générale, on peut rappeler l'importance de l'inertie dans la conception du projet architectural à basse énergie :

L'inertie d'un bâtiment, qui contribue à atténuer les fluctuations de températures brutales dans les locaux, est une source de confort ; elle évite les surchauffes et les chutes trop brutales de température. L'inertie limite les pertes de chaleur. C'est donc un facteur d'économie d'énergie en hiver pour les locaux à occupation continue.

Mais la constitution d'un stockage de chaleur à l'intérieur du volume habitable, suppose, pour que les conditions de confort soient maintenues, qu'il y ait un équilibre énergétique, à l'échelle de la journée, entre la chaleur reçue d'une manière ou d'une autre (apports solaires, ou internes) et emmagasinée par le stockage, et l'extérieur du volume habité. A défaut, il y aura un refroidissement, ou un réchauffement continu de ce volume. En hiver, l'installation de chauffage pourvoira au risque de refroidissement potentiel et maintiendra une température de confort. Mais en été, à défaut d'une climatisation, il y a un risque à ce que la température intérieure augmente de façon continue, si les moyens de refroidir quotidiennement les masses thermiques sont insuffisants.

Or la principale source de refroidissement en été est souvent l'air extérieur. Mais en climat méditerranéen, l'air extérieur est au cours de la journée à une température trop élevée pour permettre d'évacuer la chaleur intérieure. Il est donc impératif de pouvoir évacuer cette énergie durant la nuit, sans pour cela qu'elle ait occasionné durant la journée d'importantes surchauffes. La solution réside à nouveau dans l'inertie interne qui va permettre d'éviter les surchauffes excessives la journée et va créer un potentiel de refroidissement important la nuit

en maintenant un écart de température significatif entre l'intérieur (chaud) et l'extérieur (frais). On voit que, quelle que soit la nature du bâtiment et son type d'occupation l'inertie thermique est une condition nécessaire au confort, notamment en été, mais ce n'est pas une condition suffisante. Elle doit en effet impérativement être associée, en été, à des moyens efficaces de refroidissement des structures permettant de maintenir l'équilibre énergétique (éliminer toute la chaleur emmagasinée la journée) qui assurera la stabilité des températures d'un jour à l'autre.

Quelle que soit donc la nature d'un bâtiment et son type d'occupation, l'inertie thermique est toujours un facteur favorable au confort d'été. Quelle est l'incidence de cette disposition sur le fonctionnement en hiver du bâtiment ? Pour répondre à cette question il faut distinguer deux cas selon que l'occupation est continue ou discontinue. La présence de l'inertie est toujours un facteur favorable puisqu'elle permet de répartir, tout au long de la journée, l'apport de chaleur qui a été concentré à un moment de cette journée. Mais, limiter la consommation de chauffage suppose de pratiquer l'intermittence. Cette pratique conduit à interrompre le fonctionnement du chauffage dès que les locaux ne sont plus utilisés, et à laisser la température intérieure chuter le plus rapidement possible afin de réduire l'écart entre les températures intérieure et extérieure, ce qui conduit à minimiser les pertes de chaleur du bâtiment, donc sa consommation. Or pour que la température intérieure chute le plus vite possible, il faut que l'inertie de la construction soit la plus faible possible.

Selon (S.V.Szokolay, 1980), pour assurer le confort d'été, l'inertie thermique doit être obligatoirement associée à des dispositifs de refroidissement des structures qui permettront d'éliminer la nuit l'énergie emmagasinée la journée. C'est le critère le plus difficile à respecter.

Dans les bâtiments à occupation continue, l'inertie thermique est aussi une source d'économie d'énergie en hiver parce qu'elle permet une gestion optimum des apports de chaleur quotidiens,

Dans les bâtiments à occupation discontinue, il y a en revanche conflit entre les effets de l'inertie thermique puisque si celle-ci contribue à améliorer le confort d'été, elle conduit à des surconsommations de chauffage en hiver. Nous

proposons un calcul simplifié d'un indice de l'inertie thermique d'une masse "D" qui peut s'écrire de la manière suivante : (PORCHER G, 1993)

$$D = 0.51 \sum R_i \sqrt{(\lambda_i \rho_i C p_i)} \times 1/60 \quad \text{Eq 6.7.2}$$

R_i : Résistance thermique des couches de la paroi ($\text{m}^2 \text{C}/\text{w}$)

λ_i : Conduction thermique des couches ($\text{w}/\text{m}^\circ\text{C}$)

ρ_i : Chaleur massique des couches ($\text{kcal}/\text{kg}^\circ\text{C}$)

CP_i : Masse volumique (kg/m^3)

6.7.3. L'isolation thermique

Pendant les nuits d'été, lorsque la température d'air extérieur est plus fraîche que celle de l'intérieur, et que la température du ciel est très basse, la présence d'un isolant dans les parois peut freiner l'évacuation des calories à travers la paroi vers l'ambiance extérieure. Quel est alors le bilan net de l'isolation en été ? Cela dépend de l'élément de construction. Pour cela une paroi bien isolée permet de : (R. Cadiergues, 1978).

Réduire les déperditions de chaleur en saison froide, et la pénétration de chaleur en saison chaude pendant la journée, et par conséquent économiser l'énergie de conditionnement.

Compenser la réduction de l'épaisseur totale des parois dans les techniques de construction modernes.

Eviter la condensation dans les parois et sur les parois, grâce au maintien de températures pas trop basses.

Eviter la sensation de froid (hiver) ou la sensation de chaud (été) que l'on éprouve au voisinage d'une paroi trop froide ou trop chaude, à cause des échanges radiatifs.

Sur le plan des effets : Une paroi bien isolée résiste davantage au passage du flux de chaleur qu'une autre. L'isolation atténue le flux de chaleur moyen entre le local et l'extérieur. L'inertie quant à elle s'oppose aux changements ; elle atténue les fluctuations de température et de flux.

Sur le plan de la nature des matériaux : les matériaux les plus isolants contiennent généralement des alvéoles d'air ; ils ne sont pas denses et ne peuvent pas stocker une grande quantité de chaleur par unité de volume. A l'opposé, les matériaux les plus inertes, qui se prêtent bien au stockage de la chaleur, sont des matériaux denses : béton, pierre, briques pleines... (Annexe Tableaux). Sur le plan des dimensions des parois : Une plus grande épaisseur entraîne une plus grande isolation et une plus grande inertie, mais seuls les deux premières dizaines de centimètres sont réellement utiles. Pour ce qui est de la surface, une grande surface extérieure diminue la résistance totale du bâtiment et n'est donc pas souhaitable en climat froid. Une grande surface pour les murs et les cloisons intérieures est très bénéfique sur le plan de l'inertie.

6.8. Rappels théoriques des principes de la construction bioclimatique Algérienne (Méditerranéenne).

6.8.1. Caractériser les isolants

Les isolants sont des matériaux généralement légers, vendus sous différentes formes (panneaux, rouleaux, vrac...). Ils sont caractérisés par :

Le coefficient de conductivité thermique noté λ et dont l'unité est le $W/m^{\circ}C$. Ce coefficient représente le flux de chaleur (en Watt) que traverse 1 mètre de matériau homogène, pour un écart de température de $1^{\circ}C$ entre les deux côtés de la paroi. Plus λ est petit, plus le matériau est isolant.

La résistance thermique d'une paroi, notée R , est sa capacité à s'opposer au transfert de chaleur. Plus elle est élevée, moins la maison perd de chaleur et donc plus il y a économie d'énergie. L'inverse de cette résistance thermique est le coefficient de transmission thermique, noté U ($W/m^2^{\circ}C$). Si e est l'épaisseur d'isolant en mètre, ces termes sont liés par la formule :

$$R = \frac{1}{U} = \frac{e}{\lambda} \quad \text{Eq : 6.8.1}$$

La conductivité thermique λ varie selon les matériaux, et s'étale sur une importante plage. Ainsi par rapport à un matériau isolant classique type laine minérale ($\lambda = 0,038 \text{ m}^{\circ}C/W$), le cuivre isole 10 000 fois moins, l'acier 1500, le béton

50, le bois 35, la pierre 25 (au mieux 15, si la roche est poreuse). (Albert Bondil et Jean Hrabovsky 1978).

Ainsi, L'isolation nous permet d'éviter des déperditions d'air chauffé à travers les parois. Les besoins en chauffage sont diminués et notre facture allégée. En été, l'isolation fait barrière à l'air chaud extérieur. 1 C° de moins en température ambiante correspond à environ 7% de moins sur la facture. Aussi, une maison bien isolée vieillit mieux et nécessite moins des travaux d'entretiens. En effet, l'isolation, avec une ventilation efficace, supprime les risques d'humidité souvent et cause de nombreux désordre (peinture, huisserie,...). Les pertes de chaleur dans un bâtiment sont dues pour 30% aux murs, 25% à la toiture, 30% aux fenêtres et 15% au sol du rez-de-chaussée. Bien l'isoler est donc une nécessité, voire même une obligation ADEME²⁸.

6.8.2. Organisation de l'espace intérieur

La façade Sud étant la plus agréable du point de vue thermique (chaude en hiver, fraîche en été) et la plus éclairée, il est préférable d'y placer les pièces à vivre, telles que le salon, les chambres principales afin de profiter au mieux de tous les avantages de cette orientation.

Les chambres principales peuvent également être orientées au Sud-est et à l'Est, afin de profiter du lever du soleil tout en restant fraîches en fin de journée. L'orientation de la cuisine dépend de notre mode de vie. Si elle est pour nous une pièce de séjour dans laquelle vous prenez la plupart de vos repas, une orientation Sud est conseillée. Une orientation Sud-est nous permettra de prendre nos petits-déjeuners en profitant du soleil matinal. En revanche, si nous ne supportons pas les grosses chaleurs d'été, il est préférable de placer la cuisine au Nord : en effet, c'est une pièce qui dégage beaucoup de chaleur à cause des appareils de cuisson.

Les salles de bain sont des pièces ne nécessitant que peu, voire pas d'ouvertures, ni un ensoleillement important. Il est donc conseillé de les placer au Nord. Les pièces utilitaires, où il n'est pas nécessaire d'avoir une température confortable (entrée, garage, atelier, débarras...), seront de préférence disposées côté

²⁸ ADEME : Agence de l'Environnement de la maîtrise de l'énergie, France

Nord. Ces espaces peu ou non chauffés, appelés espaces tampons, se comporteront comme des isolants thermiques et diminueront les pertes de chaleur et donc la dépense énergétique durant l'hiver. Durant l'été, ils se comporteront aussi comme des isolants thermiques, puisqu'ils atténuent les rayons solaires le jour et favorisent l'évacuation de chaleur le soir.

6.8.3. Aménagements extérieurs

S'il n'est pas possible de modifier les données climatiques générales, les aménagements extérieurs (bâti, végétation) peuvent néanmoins modifier le microclimat d'un site par la création d'ombrages, le ralentissement des vents dominants, la modification du degré d'humidité, le stockage et la diffusion de chaleur. Durant l'été, même dans une rue étroite, à cause de la position très haute du soleil, l'ombre des bâtiments est réduite et aura donc peu d'impact sur le confort thermique. En revanche, des arbres plantés devant la maison auront un effet plus positif. Les végétaux à feuilles caduques sont particulièrement bien adaptés au climat de type tempéré car ils offriront un ombrage apprécié l'été, tout en ne diminuant pas l'ensoleillement l'hiver, car durant cette saison ils perdent leurs feuilles. En hiver, ils protégeront également l'habitation des vents dominants. La présence de végétaux (arbres, buissons, gazon), absorbant le rayonnement solaire par photosynthèse, sera une des principales sources de réduction de la température de l'environnement. La présence d'eau sous forme de fontaine, de bassins, contribue aussi à réduire la température de l'air ambiant. Par ailleurs, un bâtiment secondaire placé du côté des vents dominants jouera également un rôle important pour diminuer les infiltrations d'air dans l'habitat.

6.8.4. Conception des bâtiments

Cette partie a pour objectif de nous doter de connaissances essentielles quant à la conception d'un bâtiment. Généralement, c'est le spécialiste (architecte, thermicien), qui a les bons compromis entre un ensemble de critères et d'exigences différents, quelquefois en contradiction. Les informations exposées ci-dessous (Figure 25) devraient nous permettre de comprendre l'ensemble des facteurs qui influent sur la qualité du confort thermique de notre logement et sur

notre facture d'énergie. Les techniques de conception des bâtiments sont ici envisagées dans le cadre du milieu tempéré de l'Algérie; il faudra adapter les conseils donnés à la géographie du lieu d'implantation, à son microclimat le cas échéant, à sa topographie et à tous les paramètres physiques spécifiques d'un site donné.

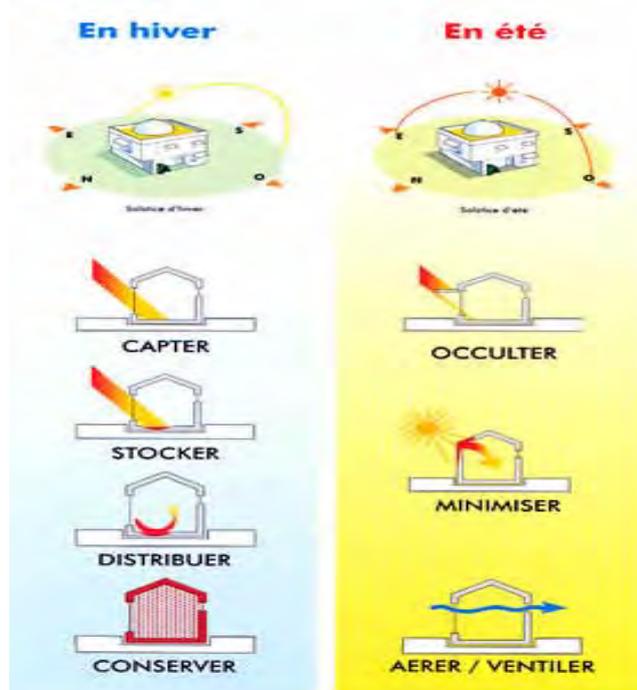


Figure 25: Principes de conception bioclimatique

6.8.5. L'implantation du bâtiment

Le projet de bâtir consiste à choisir le terrain. Dans la mesure du possible, nous choisirons un terrain permettant d'avoir une façade principale orientée vers le Sud, et assez dégagée. Un terrain dont l'axe Est-Ouest est plus long est préférable, car il permet d'avoir une façade Sud de plus grande surface. Ensuite le choix d'implantation du bâti par rapport au terrain. Ce choix d'implantation doit être particulièrement bien pensé car il influe directement sur le confort thermique du bâtiment, à cause de son incidence sur le rapport au soleil et aux vents dominants, ainsi que sur la forme globale du bâtiment. Bien que la marge de manœuvre pour implanter un bâtiment soit assez restreinte en ville, il est conseillé de garder toujours à l'esprit quelques principes fondamentaux gouvernant le

choix d'implantation. Ils doivent reposer sur une connaissance, la plus fine possible, vents d'hiver, des caractéristiques topographiques et climatiques du site, telles que la hauteur du site, le pourcentage de pente, le niveau et les variations de températures, les horaires d'ensoleillement, de brumes et de brouillard, les masques et les éléments proches (végétation, urbanisme) ou lointains (montagnes, mer) susceptibles de réduire l'insolation du bâtiment. (Figure 26 Implantation du bâtiment) (Givoni.B, 1978)

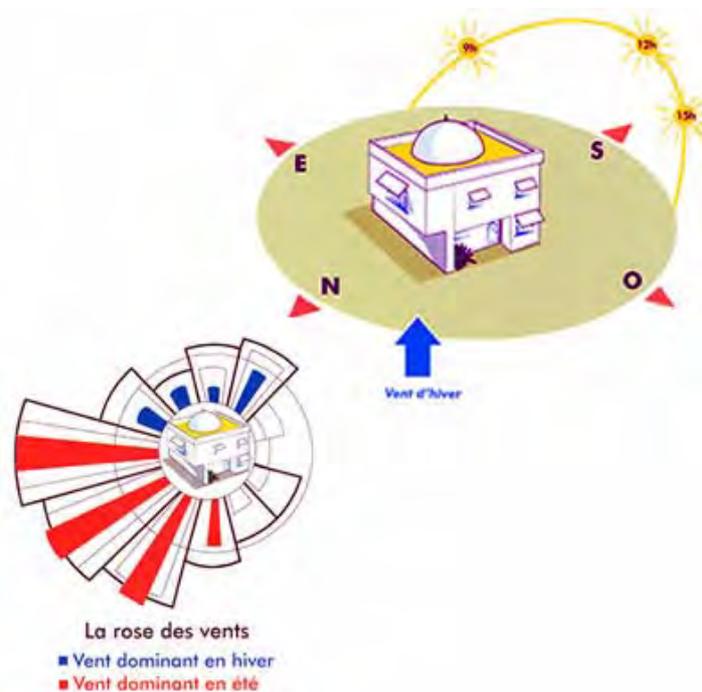


Figure 26 Implantation du bâtiment

6.8.6. Orientation du bâti

L'été, il s'agit de limiter les apports solaires et d'évacuer la chaleur, alors que l'hiver, il convient de profiter au maximum des apports solaires, et de se protéger des vents dominants. De façon générale, il est préférable d'avoir une exposition principale Sud à toute autre exposition, car c'est la seule à être à la fois avantageuse été comme hiver : En outre, une orientation Sud apporte évidemment un éclairage satisfaisant, la maison étant éclairée naturellement aux heures les plus "intéressantes" de la journée, à midi et l'après-midi, ce qui garantit en plus des

économies de chauffage une économie d'éclairage. En dehors du Sud du pays, on n'a pas intérêt à choisir une exposition principale Nord, car nous priverions notre logement des apports solaires, à la fois agréables et utiles en saison froide. Les expositions principales Ouest et Est sont à éviter, car les rayons du soleil frappent de plein fouet (avec un angle d'incidence petit) les ouvertures, qui sont alors difficiles à protéger. Ceci est particulièrement dérangeant l'été, surtout pour l'exposition Ouest car les rayons solaires arrivent au moment le plus chaud de la journée. L'orientation du bâti doit également être pensée de manière à avoir des parois aussi étanches que possible à l'air, et qui minimisent l'effet des vents indésirables (vents froids d'hiver et vents chauds d'été) (Figure 27: Orientation du bâti).

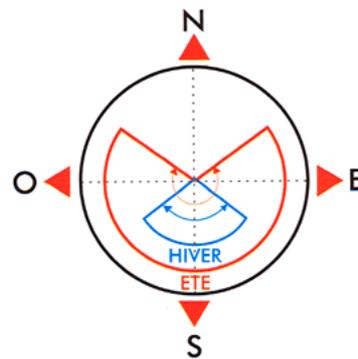


Figure 27: Orientation du bâti

6.8.7. Forme, Volumétrie et couleur du bâtiment

Le coefficient de forme du bâtiment est le rapport de sa surface par son volume. Plus ce coefficient est petit, plus les déperditions énergétiques durant l'hiver sont faibles, plus la consommation de chauffage est réduite. En effet, pour une qualité d'isolation donnée ; la dépense de chauffage sera proportionnelle à la surface des parois en contact avec l'extérieur. Ainsi, au vu des exigences de chauffage durant l'hiver, il est conseillé d'avoir un coefficient de forme inférieur à 0,70. De ce point de vue, une maison à étage obtient de meilleurs résultats qu'une maison avec uniquement un rez-de-chaussée. Pour augmenter la compacité et réduire les pertes d'énergie l'hiver, on peut également prévoir des constructions qui profitent, dans la limite du possible, du jumelage avec les voisins. En revanche, la situation en saison chaude est différente. Durant les journées d'été, l'enveloppe du

bâtiment tend à faire pénétrer de la chaleur à l'intérieur. Dans ce cas, un coefficient de forme faible est favorable comme pour l'hiver. Mais durant les nuits d'été, les parois permettent l'évacuation de la chaleur vers l'ambiance extérieure. En plus de la convection par laquelle elles cèdent la chaleur à l'air extérieur, elles émettent un rayonnement thermique important vers la voûte céleste. En effet par les nuits claires d'été, dans un climat semi-aride, la température du ciel est très basse et le rayonnement nocturne des parois vers le ciel les refroidit très efficacement. Dans ce cas, un coefficient de forme élevé (grande surface d'enveloppe pour un volume donné) est très intéressant. C'est l'une des raisons pour lesquelles les maisons à patio sont fraîches l'été : elles ont une grande surface d'enveloppe, dont une bonne partie est ombragée durant la journée (ombre mutuelle des ailes du patio) (S V Szokolay, 1980).

6.8.8. Intérêt des voûtes et coupoles.

Ces toitures ont de très bonnes performances thermiques en saison chaude. En effet, en milieu de journée, quand le soleil est intense et haut à l'horizon, elles ne reçoivent guère plus d'irradiation solaire qu'une toiture-terrasse. En revanche, pendant la nuit, elles offrent une surface extérieure beaucoup plus importante, ce qui leur permet une meilleure évacuation de la chaleur par convection et surtout par rayonnement vers la voûte céleste.

6.8.9. Couleur des revêtements extérieurs.

Un revêtement de couleur sombre favorise l'absorption du rayonnement solaire, une couleur claire réfléchira les rayons solaires les empêchant d'entrer dans le bâtiment. Des murs sombres peuvent sembler bénéfiques pour l'hiver, mais ils seront très pénalisants en saison chaude. Si l'on se rappelle le principe suivant lequel on doit pouvoir contrôler l'admission du rayonnement solaire dans le logement, on comprend très vite que le bon choix est celui d'un revêtement extérieur blanc pour les murs. C'est d'ailleurs le choix de l'architecture traditionnelle dans tout le bassin méditerranéen.

6.8.10. Conception des ouvertures

Une bonne conception des ouvertures doit donc tenir compte de certains paramètres. La dimension des fenêtres doit être aussi réduite que possible à l'Est, à l'Ouest et au Nord, car ces ouvertures, particulièrement côté Nord, entraînent des entrées d'air froid en hiver et laissent peu ou mal pénétrer le rayonnement solaire. En revanche, il est préférable de placer de grandes fenêtres au Sud, car ces vitrages capteront plus d'énergie durant l'hiver qu'ils n'en feront perdre. Pour la même raison, on peut avoir également les baies vitrées à la façade sud. A titre d'exemple, un agrandissement de la surface vitrée au Sud de 15% à 50% de la façade, nous permettra de réduire notre facture de chauffage de 20% (dans le Nord de l'Algérie) (EUGENE D and all, 1986). Si les persiennes sont maintenues fermées aux moments d'ensoleillement durant l'été, l'impact de l'agrandissement des fenêtres sur la charge de climatisation est négligeable. L'intérêt est de disposer des fenêtres à faible coefficient de déperdition thermique au Nord, à l'Est et à l'Ouest. Prévoir également des protections nocturnes (persiennes, stores, ..) isolantes placées à l'extérieur par rapport aux fenêtres. Un facteur essentiel du confort d'été est d'avoir des ouvertures permettant de profiter de l'ombre. Pour ombrer les ouvertures, des protections solaires s'imposent. Elles empêchent l'insolation directe des ouvertures tout en laissant passer la lumière. Elles peuvent être légères, amovibles ou orientables (stores, brise-soleil orientables). Repliées l'hiver, elles permettent de profiter du rayonnement solaire lorsqu'on en a le plus besoin. Les protections solaires peuvent également faire partie intégrante de la construction elle-même : brise-soleil, écrans, auvents, balcons, débords de toit. Une ouverture située au Sud présente là aussi un avantage indéniable, puisqu'elle est assez facile à protéger ; un store ou un brise-soleil suffit à l'ombrer. En ce qui concerne les fenêtres et portes extérieures, cette partie compare les différents modèles et matériaux de fenêtres et de protections mobiles (stores, persiennes...). Pour des conseils sur la répartition des fenêtres, leurs dimensions, leurs orientations et les brise-soleil voir (Tableau 4).

Type de vitrage	Description	Coefficient K $W/m^2 \cdot ^\circ C$ Moyenne pour nuit	Avantages	Inconvénients
Simple Vitrage	Un vitrage de 4 mm	415%	Bon marché	Faible résistance thermique Effet de paroi froide l'hiver et de paroi chaude l'été
Double vitrage standard	2 plaques de verre de 4 mm séparées par une lame d'air de 12 mm	285%	Pertes de chaleur réduites d'environ 40% par rapport à un simple vitrage	Plus cher que le simple vitrage
Double vitrage faiblement émissif	Comporte un revêtement spécial qui a température égale diminue la chaleur perdue vers l'extérieur	1,7 à 1,9	Pertes de chaleur réduites d'environ 30% par rapport à un double vitrage standard	Un peu plus cher que double vitrage standard

Tableau 4: Les Ouvertures

6.8.11. Conception de la ventilation naturelle

La ventilation des locaux répond à plusieurs exigences principales : Satisfaire les besoins d'hygiène et de confort des occupants ; il faut leur apporter de l'oxygène, éliminer les odeurs, les fumées, le dioxyde et le monoxyde de carbone, ainsi que les produits dégagés par l'ameublement ou les structures du bâtiment. Améliorer le confort thermique en saison chaude et froide ; un courant d'air contribue à l'amélioration de la sensation de confort par élimination de la sueur. Réduire les besoins de climatisation ou améliorer la qualité de l'ambiance intérieure en saison chaude. L'été, la ventilation des locaux quand l'air extérieur devient moins chaud que l'air intérieur (en particulier la nuit), associée à une forte inertie thermique, permet d'évacuer la chaleur stockée dans la structure du bâti. La réduction de la ventilation à son minimum durant les heures chaudes permettra en revanche de conserver cette fraîcheur. Assurer la conservation du bâti. Ceci est obtenu par l'élimination de la vapeur d'eau produite par les occupants (environ 2,5 l/jour personne), qui génèrerait condensations et dégradations. (PORCHER.G, 1993). La nécessité de la ventilation est indéniable, mais sa contribution au bilan énergétique est importante, surtout dans le cas de logements bien isolés. En ce qui concerne les moyens et contrôle de la ventilation Il faut assurer un taux minimum de ventilation, en évitant qu'il ne varie trop fortement en fonction des

conditions climatiques extérieures (vent et température). On pourra arriver à ce résultat de deux manières.

Ventilation naturelle par les fenêtres. Compter sur la discipline de l'occupant pour contrôler la ventilation ; ouverture régulière des fenêtres, mais sans excès (dix minutes suffisent pour renouveler l'air). C'est la solution la plus simple ; elle convient généralement dans les logements.

La Ventilation mécanique contrôlée. (Rietschel H, 1974), c'est la solution la plus fiable, mais la plus coûteuse, tant en investissement qu'en énergie de fonctionnement. De plus, une installation mécanique ne permettra de contrôler réellement les flux d'air que si elle a été correctement calculée, dimensionnée et soigneusement équilibrée. En l'absence de cet équilibre, on aura une inefficacité du système de ventilation, une insatisfaction des occupants, et un gaspillage d'énergie. Par contre, la réduction des infiltrations c'est d'améliorer l'étanchéité du bâtiment au niveau des joints et des matériaux de construction .Utiliser des menuiseries plus étanches pour les portes et fenêtres Placer autant que possible les ouvertures sur les façades les moins exposées au vent .Réduire l'effet de cheminée en incorporant dans le bâtiment des cloisons intérieures. Pour une bonne stratégie de ventilation l'hiver on réduit au minimum l'air entrant en tenant compte de l'occupation des locaux et de l'activité pour calculer les taux minima requis. Préchauffez l'air entrant quand cela est possible (prise d'air dans une serre, récupération sur l'air extrait...). Pour une stratégie de ventilation d'été le refroidissement de la masse du bâtiment, en admettant un renouvellement d'air important durant les heures fraîches, est réduit au minimum durant les heures chaudes. Le premier objectif suppose une organisation des locaux qui favorise la ventilation naturelle. Parmi les facteurs d'une bonne ventilation naturelle et l'organisation des locaux ; une double orientation des locaux aura un impact positif sur la ventilation. A l'inverse, le cloisonnement, la mono orientation ou même une double orientation contiguë la freine. Nous pouvons avantageusement utiliser la végétation extérieure pour freiner les vents dominants en hiver, créer des zones d'ombre en été, générant des courants d'air, et pour humidifier l'air extérieur. (P. Jardinier, 1980).

6.8.12. Conception de mur de façade

Les murs de façade en simple cloison traditionnels se composent le plus souvent (de l'intérieur vers l'extérieur) ; (BLOCH J M, 1977), d'un enduit mural à base de chaux et/ou de ciment de 1,5 à 2cm d'épaisseur ; d'une maçonnerie en briques 12 trous posées à plat. Pour des constructions plus anciennes, les briques peuvent être remplacées par des moellons de pierre naturelle ; dans ce cas, l'épaisseur des murs est fréquemment supérieure à celle des maçonneries de briques ; d'un revêtement extérieur éventuel constitué par un enduit à base de chaux ou de ciment (épaisseur =2 cm). Les murs de façade en double cloisons traditionnels se composent le plus souvent d'une paroi interne enduite (coté intérieur du logement). Cette partie de la façade joue le rôle de barrière à l'air et permet une mise en équilibre des pressions de part et d'autre de la paroi externe et d'une paroi externe enduite (coté extérieur du logement) ou parement : Elle joue le rôle d'écran contre les pluies battantes, mais n'offre pas une étanchéité totale.

Rappelons que l'isolation est utile dans le cas où l'atmosphère intérieure étant plus confortable que l'extérieur, on veut freiner les échanges de chaleur entre ces deux milieux. Elle n'est pas bénéfique dans les cas où l'ambiance extérieure est plus agréable que l'intérieure (exemple : les nuits d'été). Dans la construction neuve l'isolation extérieure est beaucoup plus intéressante que l'isolation intérieure car :

Elle permet de profiter de la capacité thermique des matériaux pour stocker l'excès de calories ou de « frigories », elle permet d'éviter les ponts thermiques. Le (Tableau 5) donne la composition et le coefficient K (inverse de la résistance R) de cinq compositions de murs différentes, ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients. Les murs 1, 2 et 4 sont couramment utilisés en Algérie. Les murs 3 et 5 sont isolés, ce qui n'est pas encore une pratique très courante. Une épaisseur de 4 à 5 cm d'isolant est suffisante pour les murs dans notre climat.

Intitulé	Description	Composition	K W/m ² °C	Avantages	Inconvénients
Mur 1	Brique 12 trous	Mortier batard 2 Brique 12 trous 15 Mortier ciment 2,5	1,9	Très bon marché - Bonne évacuation de la chaleur Durant les nuits d'été - Epaisseur faible : espace habitable plus grand	Dépense importantes de chaleur l'hiver, surtout pour logement chauffé - peu d'inertie
Mur 2	Double cloison de briques	Brique 12 trous 15 Lame d'air 4 Briques plâtrières 6,5 Mortier ciment 2,5	1,21	Assez bon marché - Assez bonne résistance thermique - Assez bonne conservation de la chaleur l'hiver - Assez bonne évacuation des calories l'été,	Pour un logement chauffé en continu : pertes d'inertie - inertie faible
Mur 3	Double cloison avec isolant	Mortier batard 2 Briques 12 trous 15 Isolant 4 Briques plâtrières 6,5	0,59	Bonne résistance thermique (K faible) performances l'hiver et les journées d'été bonnes	Coût assez élevé - l'isolant empêche l'évacuation de la chaleur Durant les nuits d'été - performances d'été moins bonnes que le mur 1 et 2
Mur 4	Mur en pierre	Mortier ciment 2,5 Pierres de taille 40 Mortier ciment 2,5	2,04	Grande capacité de stockage - Excellentes performances l'été	Coût élevé l'été - Résistance thermique faible - Mauvaises performances l'hiver
Mur 5	Double cloison : Pierre, brique et l'isolant	Mortier ciment 2,5 Pierres de taille 30 Isolant 4 Briques plâtrières 6,5 Mortier ciment 2,5	0,63	Excellentes performances été et hiver	Très coûteux - Encombrement important dû à l'épaisseur

Tableau 5: la composition et le coefficient K (inverse de la résistance R) de cinq compositions de murs différentes selon le marché Algérien des matériaux de construction.

6.9. Les besoins en chauffage

Si on tient compte des considérations thermiques et énergétiques, aussi bien lors de la conception même du bâtiment, que lors du choix des matériaux et des techniques de construction, si on gère bien nos ouvertures, on pourrait très probablement s'en passer de climatiseurs. Si on n'est pas très frileux l'hiver et à accepter de petites fluctuations de température, on pourrait aussi s'en passer d'un équipement lourd de chauffage, et se contenter d'appareils légers. Si on est plus exigeants au niveau du confort thermique, on doit installer un équipement de chauffage continu, et peut-être même un équipement de climatisation. Les questions qui se posent alors concernent le choix de la source d'énergie, "Le Chauffage".

Il existe un grand nombre de solutions possibles. Notre choix devra tenir compte de :

L'importance de nos besoins d'énergie pour le chauffage, mais aussi pour l'eau chaude. Les principales sources d'énergie disponibles en Algérie sont ; le gaz naturel, le fuel, l'électricité, le soleil.

- ✓ Le coût des énergies disponibles ;
- ✓ Le niveau de confort offert par chaque système ;
- ✓ Les émissions de polluants engendrées par chacun ;

La température intérieure imposée à un bâtiment pendant la saison de chauffage ou de rafraîchissement est le principal facteur conditionnant l'énergie utilisée par le bâtiment. La perte de chaleur, ou le gain, d'un bâtiment est proportionnelle à la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur. Une méthode utilisée pour juger des besoins en chauffage des bâtiments est d'obtenir, à partir de données météorologiques, le nombre de "degrés jours" (E. Gratia, 1998).

6.9.1 La méthode de degré jours

La notion de degré jour a été introduite dans mes calculs en besoins de chauffage pour permettre la détermination de la quantité de chaleur consommée par un bâtiment sur une période de chauffage donnée et pour effectuer des comparaisons entre des bâtiments situés dans différentes zones climatiques. Le nombre de degrés jours d'une période de chauffage est égal au produit du nombre de jours chauffés multiplié par la différence entre la température intérieure moyenne du local considéré et la température extérieure moyenne.

$DJ = \text{nombre de jours chauffés} \times (T \text{ intérieure moyenne} - T \text{ extérieure moyenne})$. En toute rigueur, le calcul des degrés jours repose sur le calcul des apports solaires propres à chaque bâtiment. Pour simplifier, et pour pouvoir comparer des situations différentes, on a introduit les degrés jours normaux, pour lesquels la période de chauffage est obtenue. La chaleur à fournir au bâtiment n'est pas rigoureusement égale à la différence entre la température extérieure moyenne et la température de confort du local, car le bâtiment jouit toujours de certains apports gratuits : le soleil, la chaleur produite par les occupants et les équipements (les gains internes). Notons, que SimulArch, calcule le nombre de degrés jours pour une latitude donnée en Algérie, en fonction des données climatiques de la région en question.

Septième Chapitre : **Développement d'un outil d'aide à la conception thermique,** **'SimulArch'**

7.1. Introduction

A la fin des années 80, deux types d'outils existaient pour étudier la performance thermique des bâtiments ; les méthodes simplifiées (bilans mensuels comme celui de la réglementation thermique 1988 en France), et les outils détaillés (Klein S. A. et al 1996) très peu utilisés par les professionnels, car trop coûteux en temps de saisie et d'apprentissage.

L'activité de modélisation/simulation avec un support informatique en physique du bâtiment existe depuis plus d'une trentaine d'années. Elle résulte en une prolifération d'outils de simulation. Ces outils sont développés par des universités, centres de recherches, bureaux d'études, industriels pour usages internes ou pour être commercialisés.

Une classification de ces outils ne sera pas effectuée ici. Il existe un répertoire d'outils de simulation destinés à l'énergie du bâtiment sur Internet (http://www.eren.doe.gov/buildings/tools_directory/toolsdir.htm). Le dénominateur commun des outils listés est leur contribution pour une utilisation rationnelle de l'énergie. Des descriptions d'outils de simulation et quelques comparaisons ou classifications sont effectuées dans (Ebert, R and all, 1996). On analyse plutôt ce que fera une personne, face à une application donnée, et quelle simulation de paramètres faudra t'il adopter pour obtenir un moindre coût d'énergie pour le chauffage dans un bâtiment résidentiel,

L'objectif est d'étudier la pertinence des approches « bioclimatiques », en particulier comme par exemple, l'isolation transparente et les vérandas, en termes d'économie d'énergie et de confort. En effet, certaines réalisations solaires des années 70 avaient constitué des contre références à cause de fortes surchauffes d'été. Il est donc nécessaire d'étudier à la fois les besoins de chauffage et les évolutions de température. D'autre part, la simulation permet de calculer

de manière plus précise les apports solaires utiles en fonction de l'inertie du bâtiment, et de prendre en compte les échanges entre zones.

A partir des années 70, des nombreux logiciels de simulation thermique du bâtiment ont vu le jour. Au fil des années, les architectures monolithiques qui ont caractérisé les premiers développements, ont laissé la place à des approches bien plus flexibles et modulaires ; la description du problème, l'identification de phénomènes et de leurs liens, l'affectation de modèles, la résolution et l'analyse deviennent des mondes distincts. Ces évolutions se sont fortement inspirées de concepts empruntés à la systémique et à l'informatique (ex. objets, hiérarchie, héritage, etc.) et elles ont été accompagnées des plusieurs efforts de définition de sémantiques de modélisation transverses. Cependant, les besoins de la recherche et d'un métier qui exige des approches d'évaluation, de plus en plus globales et transverses n'ont pas été encore comblés. Aujourd'hui, les développements sont marqués par la notion d'interopérabilité et par l'apparition de plate formes numériques regroupant des codes dédiés (thermique, acoustique, éclairage, etc.) capables de partager des informations, de dialoguer entre eux et d'apporter des solutions de conception plus globales.

Le premier pas vers la modélisation proposée consiste à décrire l'objet d'étude. Pour le bâtiment, ceci se traduit par une description géométrique de ses éléments constitutifs, de leurs propriétés et de leurs relations. Il s'agit d'une tâche lourde, coûteuse en temps, et qui est souvent accomplie à l'intérieur des environnements de modélisation et de simulation, en prenant comme point de départ les informations contenues dans des plans ou des fichiers de plans.

Dans ce contexte, la modélisation est un instrument incontournable. Elle répond au besoin incessant d'améliorer les connaissances et d'apporter des solutions au problème de bilan énergétique positif, tout en étant un vecteur efficace de transfert de connaissances vers le milieu professionnel. L'étude des transferts de chaleur et de masse dans les bâtiments remonte à presque un siècle, les modèles élaborés s'étant complexifiés et raffinés au fil des décennies.

7.2. Conception de l'outil.

Ce logiciel (SimulArch), grâce à ses possibilités interactives et à ses modes de traitement, constitue un outil adapté à des utilisations aussi bien dans des structures pédagogiques (formation) que de pratique opérationnelle (conception assistée, contrôle thermique du projet).

La procédure de simulation du logiciel utilise le principe de décomposition de la structure du bâtiment en sous éléments (Enveloppe, Espace). L'utilisateur accède sélectivement, par des commandes (interactives), à toute une gamme de résultats présentés sous forme graphiques ou imprimés ; températures, bilan thermique d'une ambiance, puissance de chauffage, déperditions du bâtiment, apports solaires gratuits dans une ambiance, ...l'utilisateur peut construire son canevas d'interrogations et rechercher des résultats globaux sur les ambiances, ou partiels suivant les périodes. Les avantages de la méthode de calcul résident principalement dans la simplicité de la modélisation, dans sa capacité de traiter des configurations de bâtiment, aussi bien sous forme simplifiée que détaillée, et dans sa rapidité de calcul, concourant ainsi à une utilisation réellement interactive du programme.

Nous avons choisi de développer un outil informatique, nommé SimulArch (Le logiciel est écrit en langage pascal, dans l'environnement Delphi), pour faciliter les comparaisons de variantes et ainsi constituer une aide à la décision qui pourra nous dire si le bâtiment consomme ou produit de l'énergie. Les calculs sont basés sur la simulation numérique, pour représenter la réalité de manière plus précise. Ainsi, l'énergie n'est plus perçue comme une simple quantité de KWh, mais appréhendée selon une série de critères environnementaux.

Un bâtiment est décrit sous la forme d'une structure d'objets. Les composants de base, matériaux, vitrages, revêtements de murs etc. sont combinés pour former des structures complexes ; parois, zones, bâtiment entier. Le comportement des occupants, lié à l'utilisation du bâtiment, (habitations, bureaux,...), est défini dans un scénario d'occupation, contenant les profils de températures de consigne, de ventilation et d'apports internes. Chaque situation ou chaque élément constitutif d'un bâtiment, y compris son environnement, nécessite l'établissement de

modèles spécifiques, qui comportent des échelles d'analyse très variées et qui font appel à des algorithmes de résolution très différents.

Dans un premier temps, quatre sous groupes thématiques seront chargés de bâtir un inventaire structuré et bien documenté des modèles existants (Tableau 6) :

Paramètres de base et environnement extérieur	Situation, Latitude, Albédo, Données météorologiques types, environnement extérieur, etc.
Enveloppe des bâtiments	Parois, ouvrants, ponts thermiques, composants passifs de chauffage, protections solaires, parois, inertie thermique etc,
Ambiance intérieure	Mouvement d'air, Température, éclairage, confort thermique, etc.
Données solaires	Ensoleillement, Ombres, lever et coucher du soleil

Tableau 6: Les différents composants de la construction pris en charge dans le calcul

En rapport avec l'inventaire, la mise en place d'une bibliothèque de modèles documentée est intégrée dans SimulArch, permettant, par exemple, de guider le choix des types de modèles les mieux adaptés à une application donnée (Base de données des composants d'un mur ou les différents cas de ponts thermiques). SimulArch est un logiciel permettant de réaliser des simulations dans le régime permanent de l'enveloppe du bâtiment dès les premières esquisses d'un projet. L'importance des apports solaires, des apports dus à l'occupation, et des apports dus aux ordinateurs dans un immeuble de bureau par exemple. On peut aussi évaluer les économies d'énergie réalisées en adoptant un réduit de week-end. Enfin, on peut estimer l'impact de masques proches (casquettes) à la fois sur la température intérieure et sur les consommations.

Dans la Réglementation Thermique Algérienne (Ministère de l'habitat et de l'urbanisme, 1998, Alger), le calcul des déperditions par les ponts thermiques ainsi que l'aspect des transferts thermiques dans le bâtiment tiennent une place importante.

Il est donc intéressant de disposer d'outils numériques permettant de calculer très rapidement les coefficients linéiques ou connaître l'influence de la combi-

raison des couches d'une paroi (alors que la résistance thermique globale de la paroi reste identique). Les objectifs sont toujours de réduire les déperditions et améliorer le confort des occupants ; donc trouver des systèmes de liaisons réduisant les ponts thermiques.

La prise en considération des ponts thermiques est une préoccupation importante des Architectes et des valeurs, de plus en plus draconiennes de transmissions linéiques, vont être imposées aux concepteurs de bâtiments dans les textes réglementaires en projet selon la réglementation si elle est respectée. Aussi, l'existence d'un outil de simulation permettant de quantifier les déperditions par les ponts thermiques et pouvant être utilisable par les bureaux d'études, comme par les enseignants ou les étudiants concernés par ces problèmes, est primordiale.

Un autre intérêt de disposer de tels outils est pédagogique. L'enseignant peut facilement illustrer certains phénomènes thermiques en montrant des champs de températures ou des évolutions temporelles. L'étudiant peut, sur des exercices d'application, faire varier certaines conditions ou certains paramètres, afin d'analyser l'influence de ceux-ci.

Il permet aussi l'étude en régime stationnaire en terme d'énergie consommée, ainsi qu'en puissance instantanée, la solution pour faciliter les comparaisons entre différentes solutions. D'autre part, sont intégrées des fonctionnalités liées à l'ensoleillement afin de considérer les évolutions réelles sur une façade orientée des apports réels. Il est également possible de simuler les besoins en chauffage avec des données climatiques représentatives de conditions estivales et hivernales pour différents sites Algériens.

7.2.1. Caractéristiques principales

L'architecture de SimulArch est réalisée de telle sorte que les deux niveaux (représentation et calcul) sont parfaitement distincts. Les éléments du niveau de représentation sont conceptuellement très proches de ceux des acteurs du monde du bâtiment (architectes, constructeurs), tandis que les éléments du niveau de calcul sont propres à ceux qui implémentent les algorithmes de calculs (thermiciens, numériciens, informaticiens) (Figure 28: Diagramme relationnel des

différents modules de SimulArch). SimulArch se présente fondamentalement par des boîtes de dialogues recevant des commandes. Dans cette boîte de dialogue, la représentation interne des données est faite en deux niveaux distincts : l'un se situant sur le plan des concepts manipulés par l'opérateur (niveau de représentation et de convivialité) et l'autre comporte les entités de calcul intégrées dans le logiciel.

SimulArch traite aussi les différents types de locaux prévus par la réglementation (locaux d'habitation individuels ou collectifs, hôtels, locaux de soins avec ou sans hébergement, bureaux, commerces, restauration, locaux d'enseignement, locaux sportifs, de rassemblement, de stockage, locaux industriels ou autres). Nous exposons certaines caractéristiques principales qui peuvent faire l'objet d'une conception bioclimatique et l'analyse du confort thermique par simulation en régime stationnaire :

SimulArch intègre une bibliothèque de données thermiques sur les matériaux et les éléments constructifs (blocs, panneaux...) pour la création de compositions de parois

À la fin de la simulation, il calcule sur les différentes périodes de calcul, les puissances de chauffage ...etc.

Le calcul de la durée de l'ensoleillement pour les différentes orientations du bâtiment est présenté sous forme de graphes.

Tous les résultats (analyses, valeurs et courbes) peuvent être imprimés, récupérables par copier coller, ou bien enregistrés sous forme de document Word. La saisie dans SimulArch est à tout moment sécurisée contre toute valeur erronée ou hors limite. La simulation n'est lancée qu'après un contrôle de cohérence des données.

On peut lire dans les résultats, une série d'indices dans la simulation pour apprécier rapidement les performances du bâtiment :

- ✓ Besoins Chauffage : somme des besoins nets de chauffage.
- ✓ Part de besoins nets de chauffage par rapport aux déperditions.
- ✓ Ensoleillement, par orientation selon la latitude

7.2.2. Modules de fonctionnement de SimulArch

SimulArch est un logiciel d'aide à la conception architecturale qui peut être utilisé pendant les étapes d'esquisse du bâtiment. Il est à la fois un outil de simulation aux performances thermiques du bâtiment et d'aide à la décision.

C'est dans les premières phases de la conception d'un bâtiment que des décisions importantes sont prises et vont intervenir sur le comportement du bâtiment, sa consommation d'énergie et le confort des ambiances. Alors, il est très important d'avoir une méthode et/ou un outil capable d'assister le concepteur dans le choix d'une solution architecturale qui soit performante par rapport à ces critères.

Il est basé sur l'examen médical simplifié, modèles mathématiques et numériques, capables d'une précision satisfaisante pour les phases initiales de la conception. L'outil consiste en un logiciel normalisé, intégré d'analyse de projets d'énergies propres qui peut être utilisé à n'importe quelle latitude pour évaluer la production énergétique, les coûts en fonction des différents paramètres de la construction et de l'environnement. En plus du logiciel, l'outil comprend des bases de données (caractéristiques thermo-physiques des différents composants, et données météorologiques). L'organigramme du modèle SimulArch est présenté ci-dessous (Figure 28: Diagramme relationnel des différents modules de SimulArch).

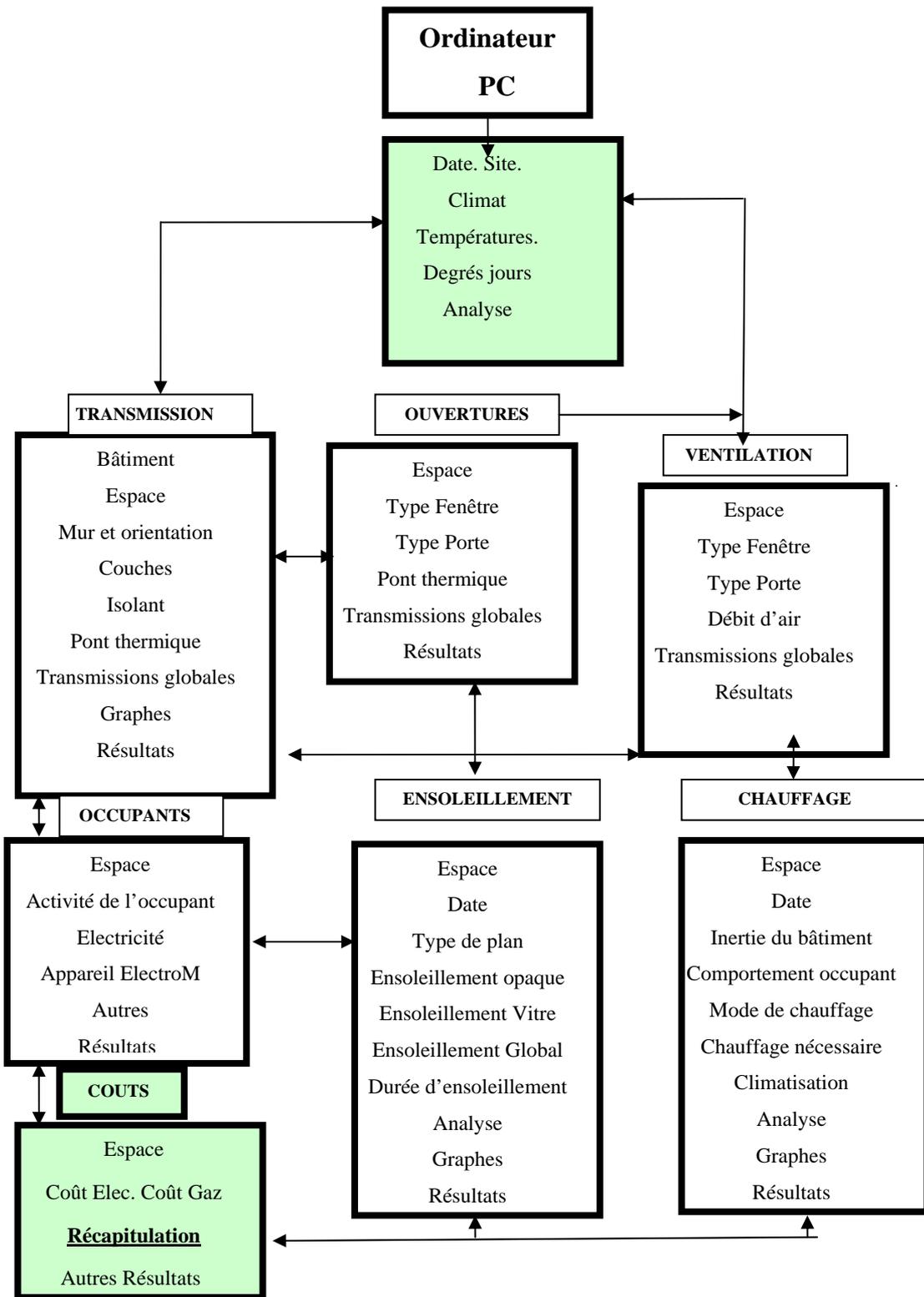


Figure 28: Diagramme relationnel des différents modules de SimulArch

7.2.2.1 les paramètres de base de l'environnement

L'introduction des données, sur laquelle se base SimulArch pour la compilation des différents paramètres climatiques et environnementaux est présentée par un module de traitement des termes d'échange entre l'ambiance extérieure et l'enveloppe du bâtiment. La latitude constitue une donnée non négligeable dans le choix des paramètres. Une base de donnée est intégrée au logiciel sur les différentes zones climatiques de l'Algérie (Eugene Dumitriu – Valcea, Edition, 1986), ainsi que certains paramètres atmosphériques de la latitude en question (Albédo, Température de base d'hiver, Température de base d'été et l'écart diurne). D'une manière générale, les zones climatiques de l'Algérie sont différentes (Figure 29 : le choix des paramètres climatiques).

Zone D : Littoral, influencé par la mer, a un climat doux, même si l'humidité y est élevée.

Zone III : Les haut plateaux, l'hiver devient la saison la plus importante

Zone IV : Le sud, est une région très sèche et chaude, dans cette zone la variation de température entre le jour et la nuit est très grande. Pendant l'hiver le chauffage est nécessaire la nuit.

L'altitude d'une situation donnée (Wilaya) est prise en considération dans le choix de la zone à travers le territoire national. Une altitude minimale ou maximale influe sur la température de base d'une saison. On cite par exemple ; à Constantine, une altitude de 1100 m à Djebel el Ouahch (Haute montagne au Sud Est de Constantine) correspond à une température de base d'été de 33.5 °C et à une température de base d'hiver de 1°C.

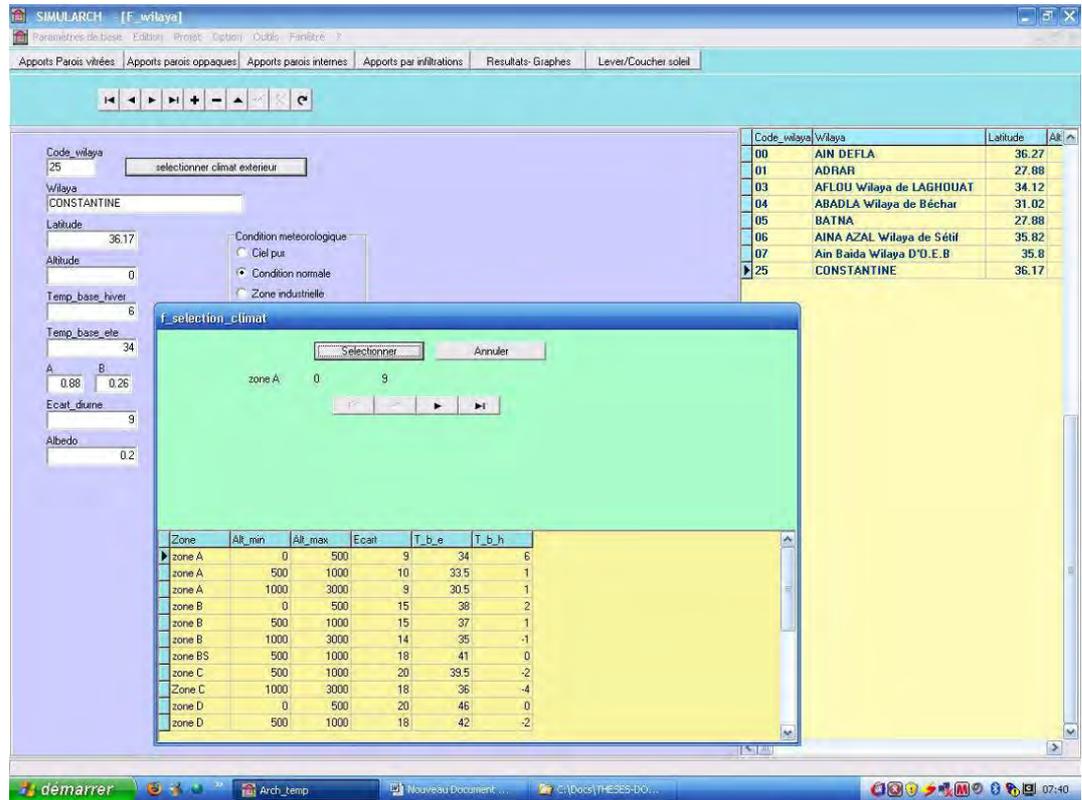


Figure 29 : le choix des paramètres climatiques

7.2.2.2. L'enveloppe du bâtiment

La conception architecturale joue un rôle fondamental dans la finalisation de cet objectif. Le processus de conception doit suivre une série de règles bien établies qui peuvent être aisément déduites de principes de base. Les grandeurs énergétiques qui influencent le bilan thermique d'un bâtiment ; la conduction à travers l'enveloppe, ce terme est proportionnel au coefficient K moyen de l'enveloppe, et il représente une perte d'énergie en hiver et un gain d'énergie en été. L'absorption du rayonnement solaire sur les faces externes de l'enveloppe contribue à accroître les gains en été, mais elle diminue les pertes en hiver. Cependant pour une enveloppe bien isolée, la contribution solaire est faible et normalement négligeable. La (Figure 30) ou boîte de dialogue de SimulArch montre les différents paramètres pour une configuration d'une paroi quelconque (extérieure ou intérieure). Les différents constituants d'un mur sont présentés sous forme de bibliothèque composée de plusieurs catégories de matériaux. Ainsi, le calcul du coefficient global thermique K_g (indice de la conduction thermique à travers la

paroi) pourra être simulé en fonction des valeurs du paramètre d'échange de convection de chaleur et le choix de l'inclinaison du mur par rapport à l'horizontale (Figure 31). La conduction thermique à travers l'enveloppe est étudiée minutieusement dans le calcul du bilan thermique. Le flux thermique traversant les murs est modélisé en fonction de la forme que peut avoir l'enveloppe du bâtiment. SimulArch propose une variété de géométrie (Forme ordinaire, Curviligne, Cylindrique et Sphérique) Figure 32 : La forme de la paroi extérieure.

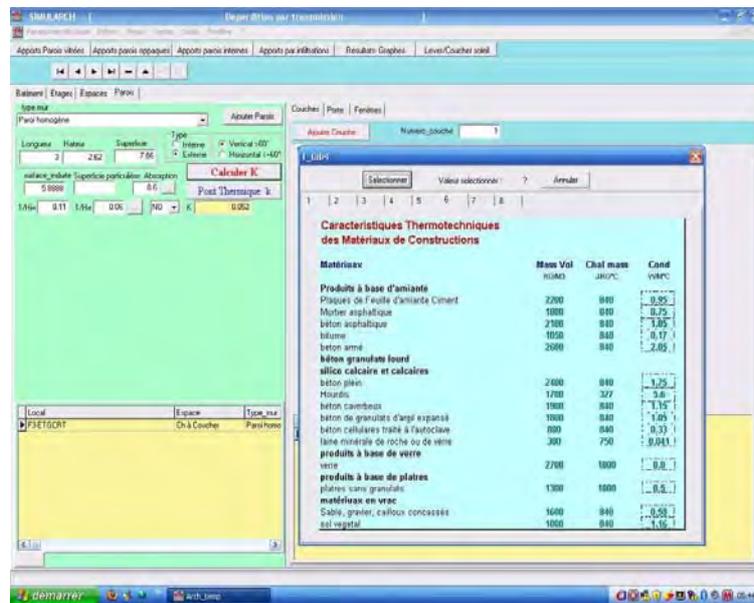
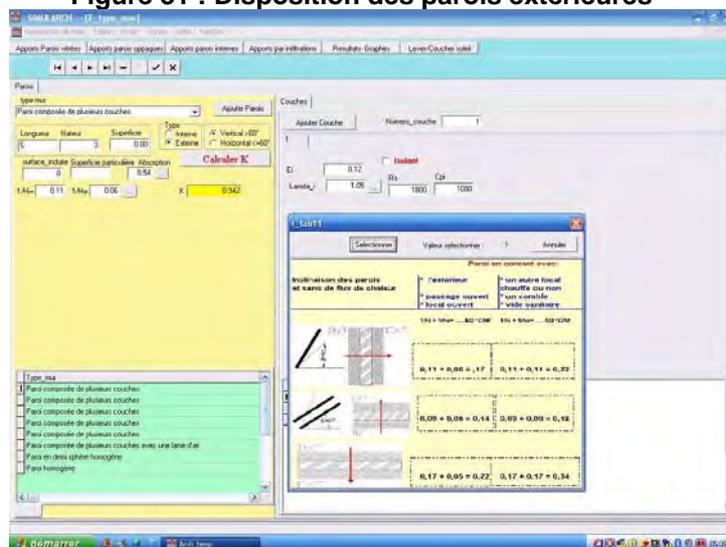


Figure 30 : Les composants des parois

Figure 31 : Disposition des parois extérieures



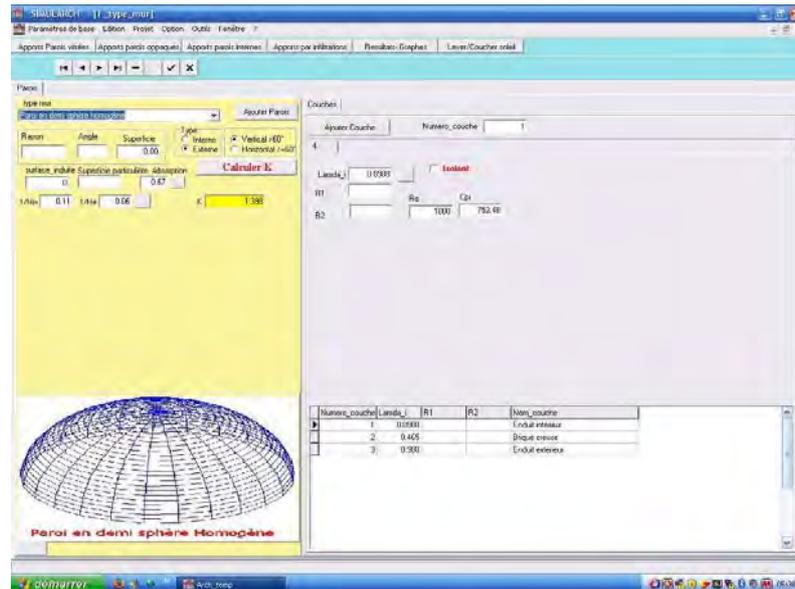


Figure 32 : La forme de la paroi extérieure

7.2.2.3. Les ponts thermiques

L'étude des déperditions de chaleur des différentes parties des bâtiments, tel que des murs plus fins, des fenêtres, des éléments métalliques, etc... est nécessaire pour minimiser la consommation d'énergie. Les ponts thermiques sont à l'origine d'une grande part de la perte d'énergie de chauffage, mais aussi, ils créent des zones froides localisées dans la maison. Ces zones sont source d'inconfort pour les occupants, car le corps humain aura une impression de froid si les murs sont froids, et ce, même si l'air de la pièce est bien chaud. SimulArch traite minutieusement les ponts thermiques. Différentes bibliothèques de schémas sont présentées dans des boîtes de dialogues afin de mieux choisir le cas pour une meilleure conception de la paroi (Figure 33: Les Ponts thermiques).

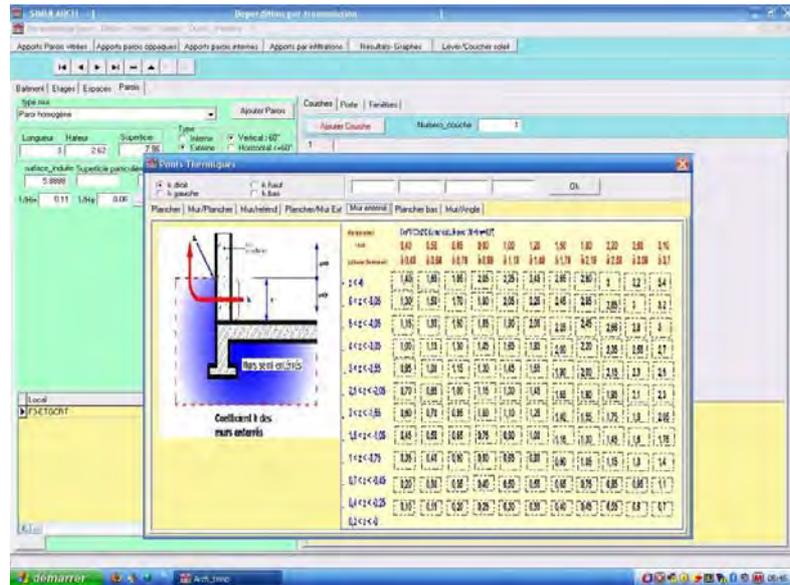
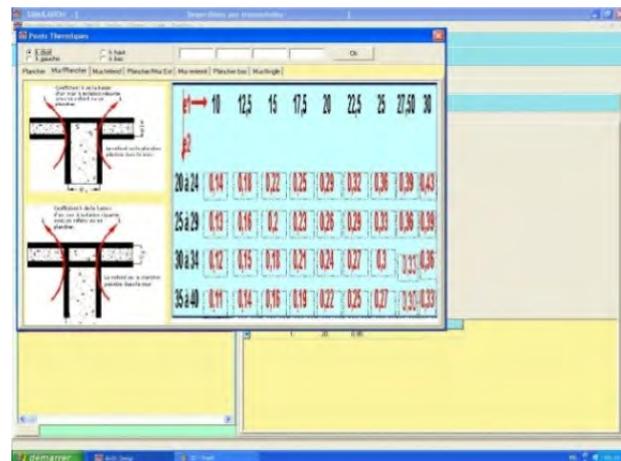
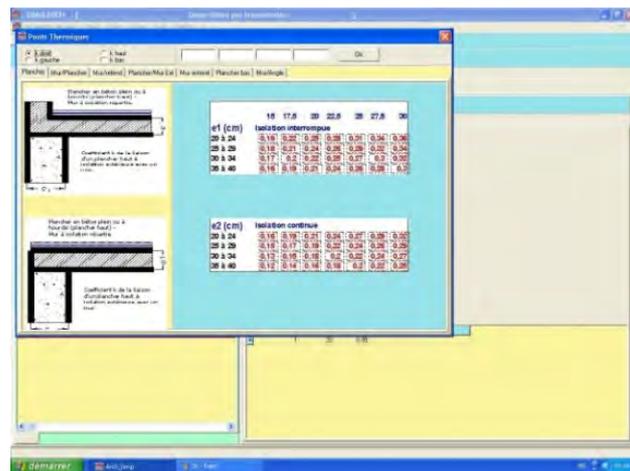
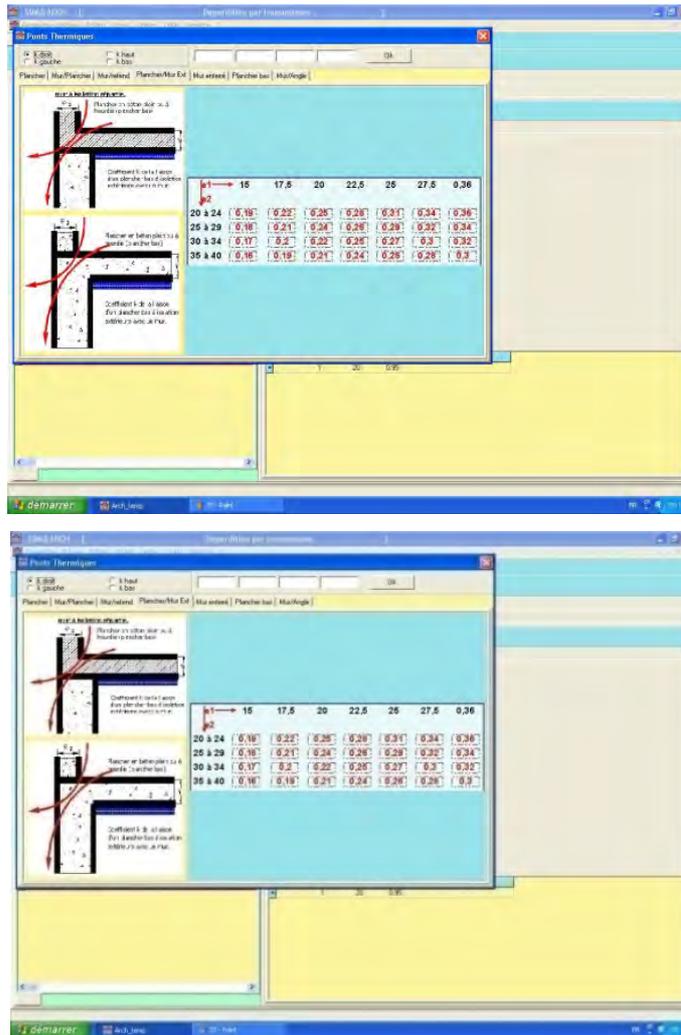


Figure 33: Les Ponts thermiques





Différents type de ponts thermiques

7.2.2.4. Les températures intérieures

Pour une température régulée, la réduction des besoins en énergie est un objectif principal. Pour réduire simultanément les besoins en énergie, à la fois en hiver et en été, il est nécessaire de réduire le transfert de chaleur à travers l'enveloppe, réduire les infiltrations et le renouvellement d'air et accroître les gains internes et solaires en hiver et les réduire en été. Cela signifie que la température de confort à l'intérieur d'un local est fonction de plusieurs paramètres agissant en même temps. L'ambiance thermique intérieure peut varier d'un espace à un autre (Figure 34: L'ambiance thermique à l'intérieur des espaces).

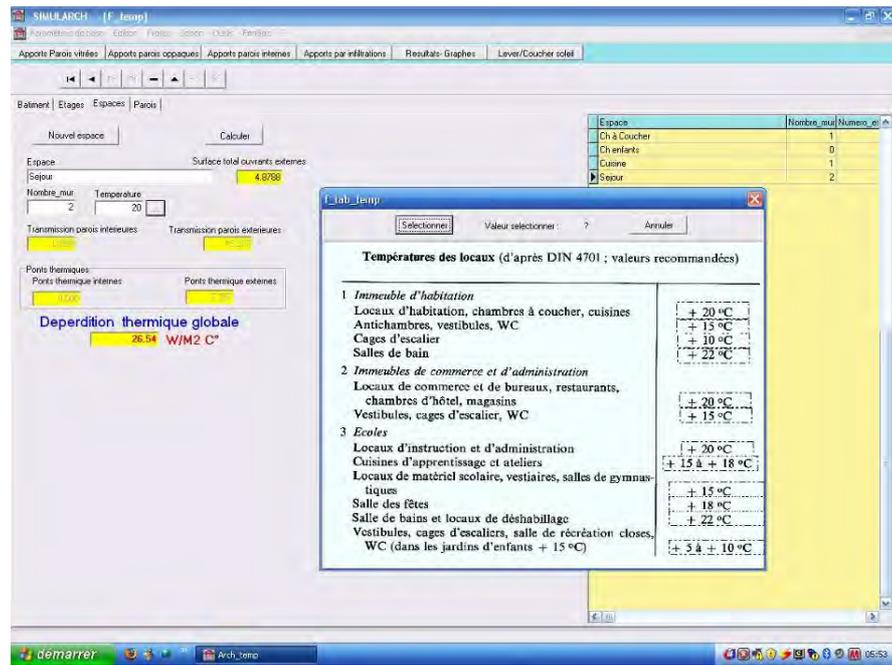


Figure 34: L'ambiance thermique à l'intérieur des espaces

7.2.2.5. La ventilation

Les infiltrations doivent être réduites, mais seulement pour éviter des excès inutiles. D'une manière générale, on limite le renouvellement d'air aux niveaux recommandés, en évitant des valeurs excessives. Chaque espace on lui recommande un volume d'air qui correspond à son activité. Ainsi, les déperditions par renouvellement d'air seront minimisées. Se protéger des vents nécessite tout d'abord une conception architecturale globale (Figure 35). Les déperditions par infiltration d'air sont calculées selon plusieurs paramètres à savoir le besoin en ventilation mécanique et surtout les dimensions des ouvertures. Le résultat obtenu peut être revu jusqu'à la réduction du besoin en énergie.

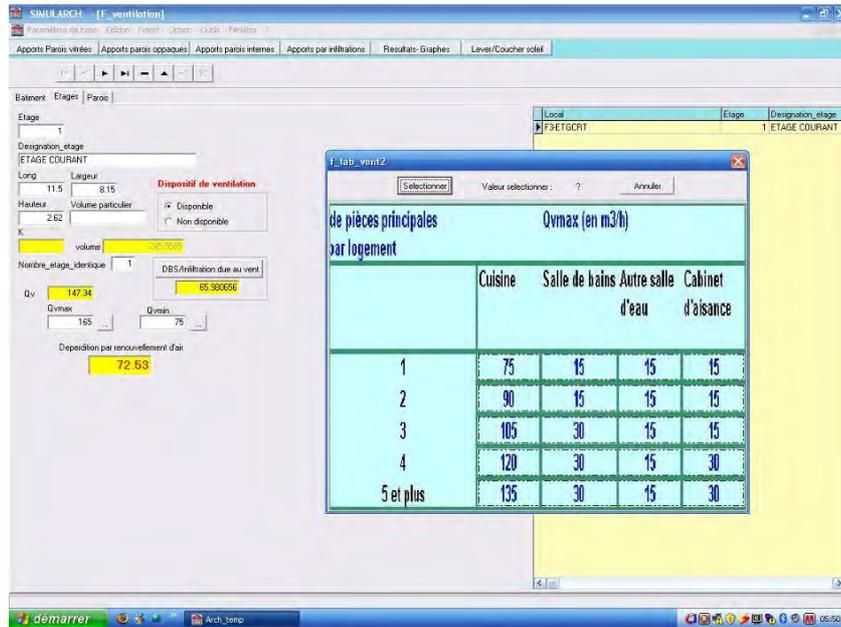


Figure 35: Renouvellement du volume d'air dans les espaces

7.2.2.6. Les gains internes et solaires

La simulation du rayonnement solaire est modélisée selon les différentes façades. On peut obtenir plusieurs lectures. Accroître les gains internes et solaires en hiver et les réduire en été. Les deux déclarations du titre peuvent sembler contradictoires à première vue, mais elles sont réellement pleinement compatibles et conduisent aux concepts les plus importants de la conception d'un bâtiment économe en énergie (ou bioclimatique). Figure 36 montre la valeur des gains de chaleur pour différentes orientations en hiver, été, et mi-saison. On peut constater que :

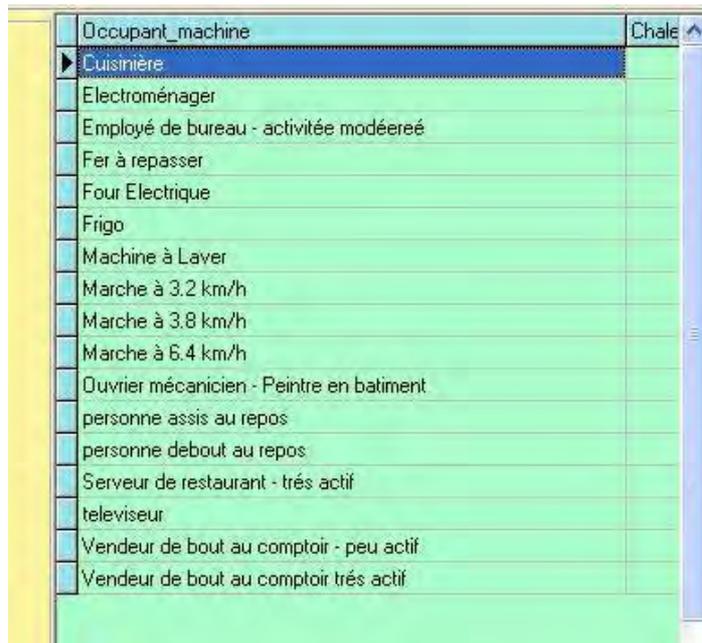


Figure 36: Bibliothèque de Gains Internes dans SimulArch

L'orientation optimale pour les gains solaires en hiver est le sud, ou au moins sud- est ou sud- ouest. Toute autre orientation contribue faiblement à la captation de l'énergie solaire.

En été, le sud est aussi la meilleure orientation possible pour minimiser les gains solaires. C'est presque équivalent à l'orientation nord qui reçoit un faible rayonnement toute l'année. Toute autre orientation (SE, SO, E, O, et principalement un plan horizontal) donne une forte contribution au bilan énergétique d'un bâtiment en été

Ainsi dire, SimulArch peut nous présenter une lecture sur le comportement de l'apport énergétique solaire sur un bâtiment. En mi-saison, quand le besoin en chaleur ou en froid peut être faible, un vitrage sud est à peu près équivalent à un vitrage Est ou Ouest. Ainsi, la règle la plus élémentaire est de favoriser les parois vitrées au sud du bâtiment, meilleure solution pour atteindre une bonne performance thermique. Des parois vitrées orientées au sud apportent des gains solaires en hiver, contribuant ainsi potentiellement à une réduction significative des besoins en chaleur du bâtiment (Figure 37: Durée d'ensoleillement pour chaque façade). Ce principe peut également influencer la forme et l'orientation de l'ensemble du bâtiment, pour permettre de favoriser l'orientation sud des vi-

trages (Figure 41: Energie transmise par les vitres) ; des formes parallélépipédiques, dont les grands cotés s'alignent d'Est en Ouest constituent la meilleure conception possible.

Tout ces éléments de calcul opèrent à n'importe quel niveau du bâtiment. La simulation thermique que nous proposons, étudie le comportement énergétique d'un espace (chambre par exemple) ou d'un étage comme le montrent les (Figure 39 : Energie par espace) et (Figure 40 : Energie par étage).

Rappelons que SimulArch prend en charge la modélisation des gains internes qui représentent toutes les sources de chaleur situées à l'intérieur du Bâtiment, notamment les occupants, luminaires, appareils et autre équipement. Ces sources résultent des activités normales se déroulant à l'intérieur (Figure 42 : Les gains internes). Ce dernier terme représente la quantité d'énergie délivrée par tout équipement de chauffage ou de rafraîchissement pouvant être activé spécifiquement dans le but de contrôler les conditions de l'environnement intérieur pour assurer le confort. La température est la plus évidente des variables contrôlées, bien que l'humidité et la vitesse d'air sont, ou devraient être, importantes également.

SimulArch montre que, par un bilan énergétique très simple, il est possible de déduire les règles principales qui rendent possible un bâtiment économe en énergie. Pour cela, ce logiciel propose une démarche passive (European Passive Solar Handbook, 1986) .pour une solution architecturale bioclimatique ou la construction d'un bâtiment à faible énergie :

Adopter une enveloppe énergétiquement efficace, par isolation thermique (des murs, toitures, sols et parois vitrés – des doubles vitrages peuvent ne pas être rentables sous les climats doux en hiver),

Limiter le renouvellement d'air aux niveaux recommandés, en évitant des valeurs excessives.

Favoriser les solutions produisant des gains solaires passifs en hiver. La forme et l'orientation du bâtiment doivent retenir dès le début l'attention du concepteur, et elles doivent alors être complétées par beaucoup de vitrages orientés au sud et sans effet d'ombrage par des obstacles extérieurs.

Mettre à disposition en été, des protections solaires extérieures sur toutes les surfaces vitrées.

Permettre la ventilation naturelle en été quand les conditions extérieures sont favorables.

En suivant ces règles simples, il est possible de concevoir un bâtiment réclamant une faible quantité d'énergie pour maintenir le confort intérieur. Ce ne sont pas des conclusions de résultats mais des règles fondamentales que SimulArch propose dans sa logique de simulation (Mark Zimmermann et Johnny Andersson., 1998.)

La conception architecturale joue un rôle fondamental dans la finalisation de cet objectif. Le processus de conception doit suivre les règles établies qui peuvent être aisément déduites de principes de base, comme il est montré dans ce chapitre. Bien que ces règles soient valables dans tous les cas, on insistera particulièrement sur les conclusions pouvant être tirées pour les bâtiments situés en climat méditerranéen.

Le but de ce chapitre a été d'apporter notre contribution aux efforts que devra développer l'Algérie pour limiter la consommation d'énergie par une amélioration du confort. Pour ce faire, nous avons proposé des éléments de calcul des charges thermiques, adaptés au climat méditerranéen. Une méthode simplifiée de calcul de bilan thermique permettant de présélectionner les éléments définissant la démarche à basse énergie dans les constructions, a été présentée. Les ratios de consommations énergétiques d'un local chauffé et la méthode d'évaluation de la puissance énergétique à souscrire auprès de la société nationale du gaz et de l'électricité (Sonelgaz), ont permis de compléter cette étude. L'utilisation des données consignées dans ce présent chapitre pour effectuer un bilan thermique, est recommandée (Ecole des Mines de Paris, 1990), car cela nous permet d'une part d'économiser sur l'investissement dans l'auxiliaire d'appoint et d'autre part, d'adapter la puissance à installer à nos besoins réels ; ce qui diminuera aussi les dépenses en chauffage (Figure 43 : Energie globale dépensée).

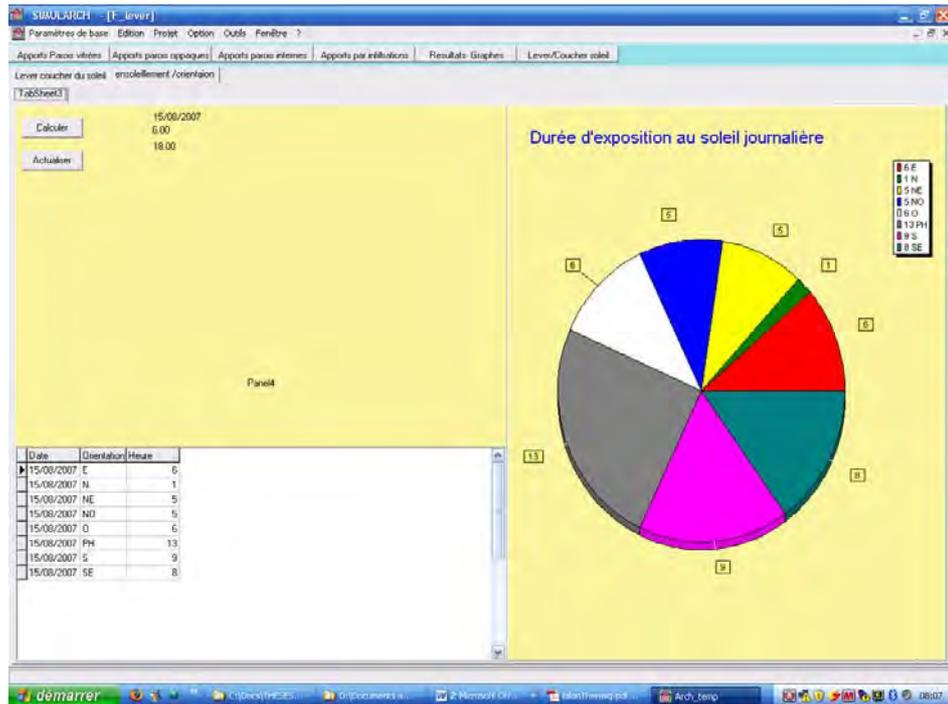


Figure 37: Durée d'enseiement pour chaque façade

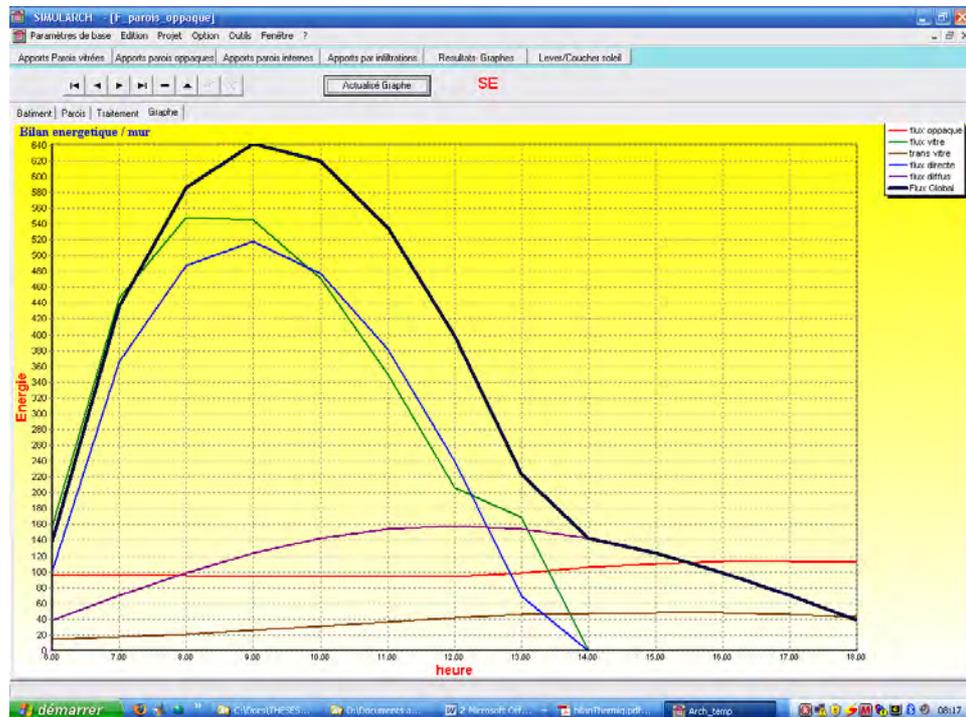


Figure 38: Les flux solaires sur une façade (Sud - Est)

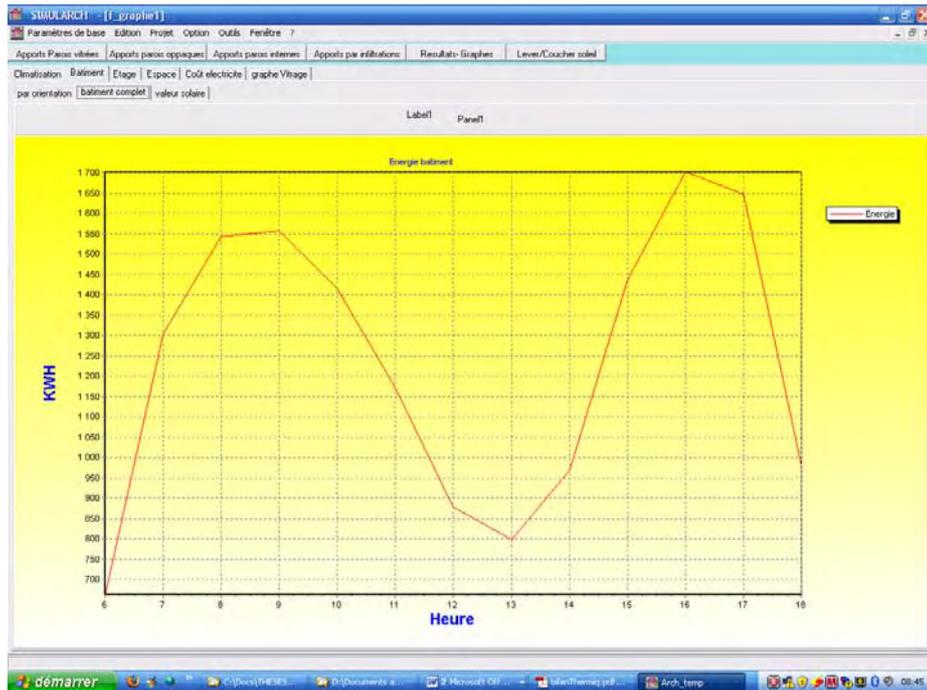


Figure 39 : Energie par espace

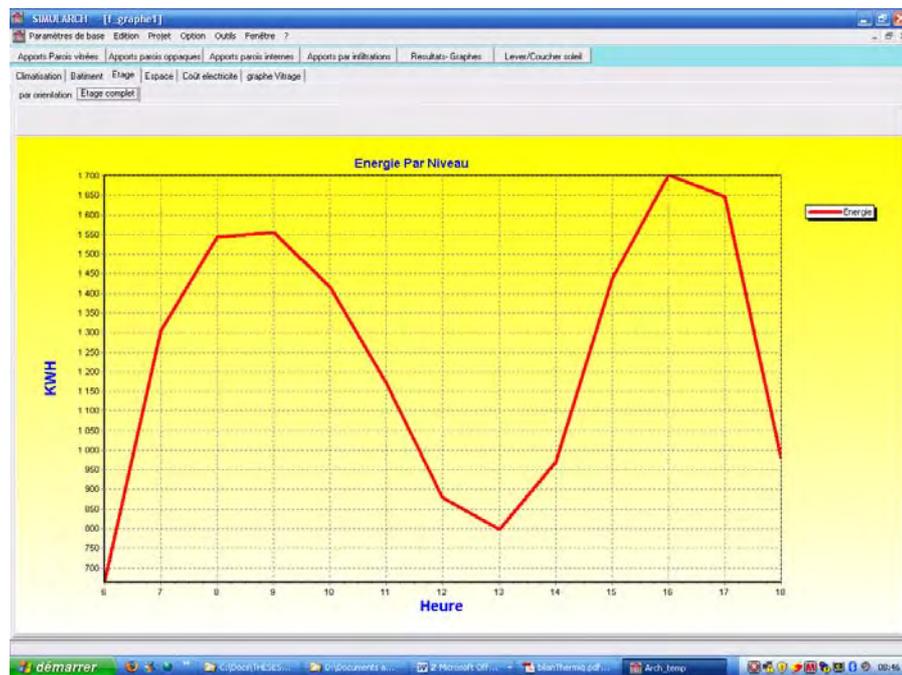


Figure 40 : Energie par étage

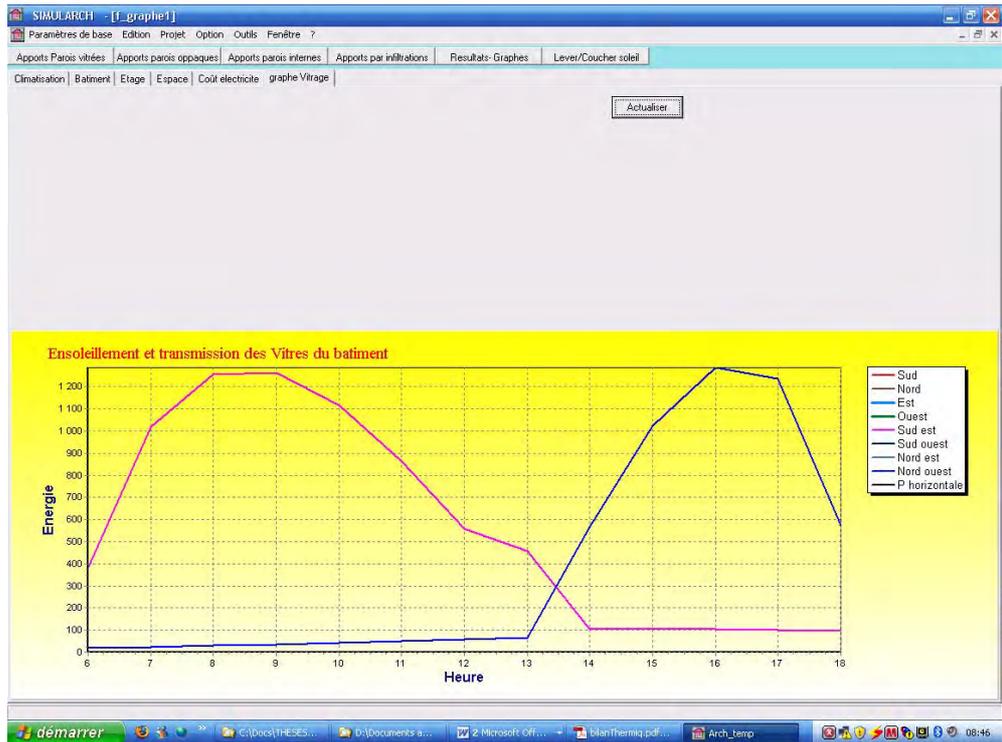


Figure 41: Energie transmise par les vitres

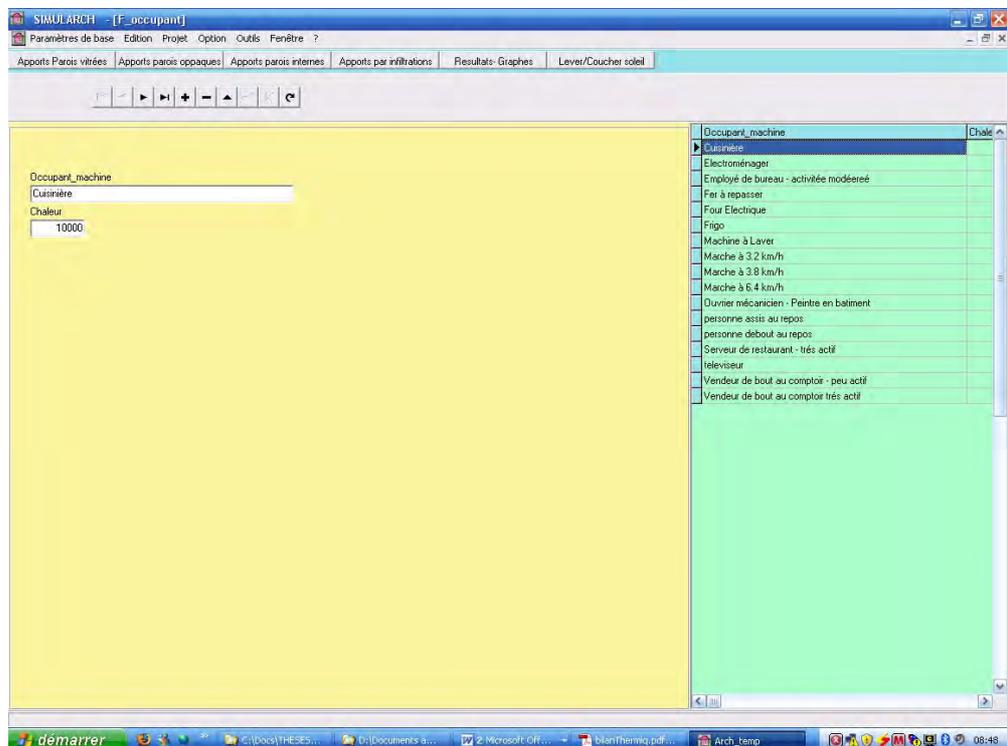


Figure 42 : Les gains internes

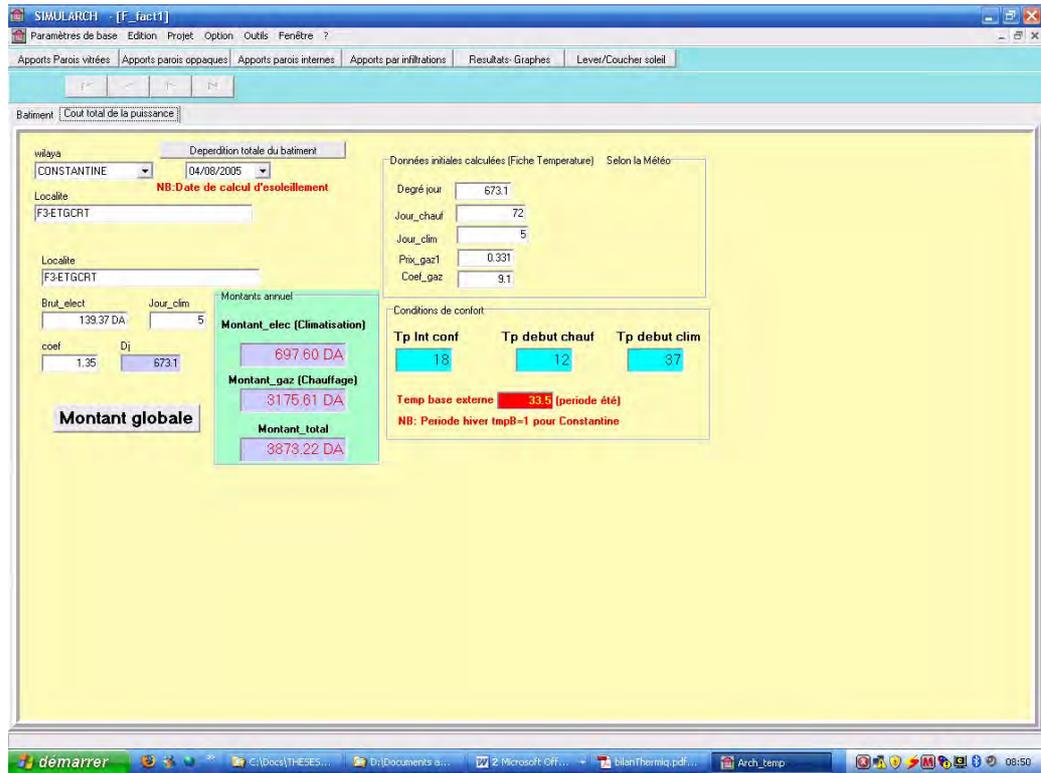


Figure 43 : Energie globale dépensée

7.2.3. Validation de l'outil de simulation 'SimulArch'

Les outils de simulation thermique permettent d'évaluer les besoins énergétiques et le niveau de confort thermique des bâtiments de manière plus détaillée. Afin de démontrer leur avantage en termes de précision, plusieurs activités de validation peuvent faire l'objet d'une étude particulière pour mieux comprendre les résultats obtenus. En particulier :

- ✓ Des comparaisons par rapport à des mesures, (Cas de SimulArch et la base de données collectée auprès de la Sonelgaz) ;
- ✓ Des comparaisons inter modèles, dans le cadre de bancs d'essais de logiciels ;
- ✓ La comparaison des données climatiques utilisées.

Ce qui nous intéresse particulièrement, c'est que notre bâtiment Test a permis de collecter des données expérimentales adaptés à la validation de notre modèle **SimulArch**. En effet, certains phénomènes sont difficiles à quantifier (Comportement des occupants dans l'espace en question, les gains internes dus à plusieurs sources et probablement à la valeur de Kg (coefficient de transmission thermique global) des matériaux qui ne correspondent pas à la valeur réelle du composant du bâtiment ; suite à la non réglementation de la mise en œuvre) et qui permettent ainsi une comparaison plus rigoureuse entre les calculs et les mesures. Un exemple de résultats sur notre cellule Test montre après simulation que le coût de l'énergie pour le chauffage suit assez bien la moyenne des mesures obtenues auprès de la Sonelgaz, avec une légère surestimation en KWh (Figure 75), (FOURA.S, ZEROUALA M.S, 2007).

La sensibilité du logiciel est étudiée en faisant varier plusieurs paramètres : l'orientation des fenêtres, la présence d'occultations, l'inertie thermique, les propriétés des murs, les infiltrations d'air et les apports internes de chaleur. Des scénarios avec ou sans paramètres sont également étudiés. Certains changements de paramètres (Protection solaires : casquette au dessus du vitrage, des fenêtres SUD sont remplacées par une fenêtre EST etc....) peuvent influencer la prise de décision de l'architecte. Comme dans d'autres cas, en faisant varier des paramètres (rayonnement solaires en hiver, ...) les résultats obtenus en matière de

chauffage par exemple, restent inchangés et non décisifs dans le choix de la conception architecturale.

Après simulation avec notre code de calcul, SimulArch, de certains paramètres architecturaux, des résultats ont été obtenus en matière de rayonnement solaire pour mieux comprendre le comportement du bâtiment vis-à-vis du confort intérieur. De la Figure 38 à 41 et de la Figure 49 à 55, SimulArch, nous présente les résultats graphiques des différents cas d'énergie incidente sur plusieurs orientations de parois. De ce fait, les courbes tracées dans ces boîtes de dialogue de SimulArch, nous les retrouvons dans certains ouvrage de la thermique du bâtiment et spécialement dans (Recknaguel, 1986, page 239, Figure 2.2a – Variations de l'intensité du flux solaire global atteignant une surface de parois avec plusieurs orientations). Nous pouvons dire que, la deuxième partie de l'étude de notre logiciel proposé est validée.

Il ne s'agit pas donc, d'un banc d'essais de logiciels pour le calcul des charges de chauffage ou de climatisation qui participe à cet exercice ; par exemple, un bâtiment à plusieurs zones soumis à des charges solaires et des apports internes variables selon différents scénarios. Il ne s'agit pas aussi à une étude d'une synthèse des principales hypothèses des modèles (Bruno P, 2005). Il s'agit là, d'une validation de modèle thermique basée sur l'étude comparative des résultats obtenus à des données collectées et étudiées ensuite simulées dans un code de calcul (données collectées auprès de la SONELGAZ et exploitées dans SimulArch). Cela nous permet de dire que, la manière d'étude qui a consisté de vérifier la précision de calcul en régime permanent par rapport à une configuration multi zonale ou mono zone, est considérée comme un banc s'essais décrit précédemment dans le chapitre sept "Développement d'un outil d'aide à la conception thermique, SimulArch".

Huitième Chapitre : Expérimentation des performances thermiques et énergétiques sur une cellule Test en Algérie.

8.1. Introduction

En Algérie, la demande des secteurs résidentiel et tertiaire combinés en termes d'énergie sera égale à celle des transports d'ici environ 2010 (APRUE, 2003), ce qui fera du bâtiment le plus important secteur pour la consommation d'énergie dans le pays. Comme il a été souligné précédemment, l'utilisation de l'énergie dans les bâtiments est la cause de cette augmentation de la demande. L'APRUE, n'ayant pas encore déterminé les mesures et pratiques de conservation énergétique dans ce secteur, elle estime que le potentiel d'économie d'énergie et de réduction des gaz à effet de serre y est particulièrement élevé. Le poids de la crise économique actuelle a t'il conduit les maîtres d'ouvrage sociaux à chercher des solutions visant à réduire les charges payées par les locataires ?, parmi celles-ci les charges d'énergie sont évidemment les plus lourdes, tel est le rêve de tout architecte concepteur soucieux du confort de son habitat.

Ce chapitre apporte une contribution à l'état des lieux en matière de confort et de la performance thermique d'un outil de simulation du bâtiment. La cellule test permet de comparer les résultats des simulations à des données collectées. Les bancs d'essais permettent de faire varier de nombreux paramètres, et ainsi d'étudier la sensibilité de l'outil. Ce type de travail répond aux exigences des utilisateurs qui souhaitent simuler des paramètres architecturaux, dans le but de connaître le niveau de performance énergétique d'un bâtiment. Les résultats que donnera le logiciel proposé (SimulArch) seront étudiés en faisant varier différents paramètres ; l'orientation des fenêtres, la présence d'occultations, la température fixée, la ventilation, l'inertie thermique, les propriétés des murs, les infiltrations d'air et les apports internes de chaleur. Ceci permettra de définir une méthodologie opérationnelle claire pour la conception de logements à faibles besoins en énergie. Pour réussir ce pari, il faut impérativement que le projet architectural soit global. Il n'y a pas d'un côté le bâtiment et de l'autre la partie éner-

gétique et technique. Tous les paramètres interagissent et seule une approche synthétique conduira à un résultat satisfaisant, cohérent et au moindre coût. Cela signifie qu'il faut traiter simultanément tous les problèmes liés à la conception, sans chercher à optimiser individuellement chacun des paramètres, mais en visant plutôt un optimum global. C'est en ce sens que l'architecture climatique n'est pas une architecture particulière mais tout simplement « l'architecture », celle dont la vocation a toujours été de produire un dessin élégant, ayant intégré de manière optimale l'ensemble des contraintes existantes. La dimension énergétique n'est qu'un élément parmi d'autres.

8.2. Définir la méthodologie expérimentale

Dans notre cas d'étude, il ne s'agit pas de procéder à une campagne de mesure des consommations d'énergie auprès de la Sonelgaz, car ces mesures sont posés sur chacun des usages ou locataires dont on souhaite connaître les caractéristiques ; telle que la puissance ou la consommation d'énergie, la tension, etc.

La Sonelgaz a déjà menée une campagne de mesure d'énergie dans les ménages en collaboration avec l'APRUE sur plusieurs centaines de logements. L'objectif du projet était de connaître les consommations unitaires pour mieux cibler les actions en direction des particuliers, et réduire les consommations de l'énergie domestique. Parmi les stratégies mises en place, la réglementation thermique des bâtiments est destinée à améliorer la conception et la qualité des enveloppes afin que les besoins en climatisation de toute construction neuve soient fortement réduits. On observera le même phénomène pour les usages thermiques (chauffage). Ceci devrait permettre de réduire les besoins en climatisation dans le futur. (Institut de l'énergie et de l'environnement de la francophonie, 2005).

Ainsi, nous avons vu nécessaire de définir la nature de notre échantillon qui s'applique exclusivement sur une base de données collectée auprès du CTI de Constantine (Centre Technique Informatique). Des informations sur la consommation d'énergie d'un ensemble de cités urbaines constituées de mille (1000) logements sociaux environ, nous ont été présentées. Ces bâtiments à caractère ré-

sidentiels s'étalent sur quatre niveaux et dont les usagers appartiennent à plusieurs catégories professionnelles.

Bien que Les campagnes de mesures sont en cours actuellement. Les données obtenues seront de la première importance pour la lecture d'un certain comportement des ménages en matière de consommation d'énergie, qui est devenu l'un des problèmes majeurs qui progresse de façon très rapide chaque année.

Les données obtenues de la Sonelgaz sont classées selon la facturation bimestrielle étalée sur une quinzaine d'années (1990 – 2004). Pour chaque ménage (un appartement conventionnel de type F3) correspond une consommation d'énergie en gaz et électricité exprimée en thermie²⁹ et kilowatts heures. Des tableaux de la facture type de la Sonelgaz détaillant les différents paramètres et unités dans le calcul de l'énergie d'un ménage (Annexe : Facturation Annuelle détaillée de la Sonelgaz).

8.3. Analyse climatique de Constantine

8.3.1. La température

La ville de Constantine est classée dans la zone B, qui comprend la plaine derrière le rivage de la mer et les vallées entre les chaînes côtières de l'atlas tellien. Elle est située sur un étroit plateau rocheux, entouré par le lit du Rhumel avec des gorges atteignant 100 m de profondeur en moyenne et à une altitude de 694 m du niveau de la mer. Elle se trouve à 36° 17 Nord et 6° 37 Est de l'Algérie. Elle est caractérisée par un léger retrait du littoral méditerranéen. Le climat est assez particulier, chaud en été et froid en hiver. Selon les données recueillies par le service de la météo, les variations de température pour la région de Constantine sont caractérisées par sa chaleur durant presque une période de six mois et son froid qui dure aussi pendant l'autre moitié de l'année (Figure 44), La valeur maximale atteint le mois de juillet et août et la valeur minimale atteint le mois de janvier et décembre. Ci-dessous la variation de température minimale et maximale moyenne journalière et mensuelle entre 1990 et 2004 (15 ans). Nous cons-

²⁹ La thermie (th) est l'unité de mesure de quantité de chaleur, valant un million de calories. (Cette unité n'est plus légale en France). 1 th = 1.16 kWh = 4.187 MJ

tatons que les courbes atteignent des valeurs importantes de températures au mois d'août. Un maximum moyen de 35 °C et un minimum moyen de 19 °C. Remarquons aussi qu'un maximum de température pendant le mois de décembre, pour la même période, a atteint les 12 °C et 6 °C, pour une valeur minimale.

Les fréquences de températures extérieures moyennes mensuelles et journalières de chaque année (1990 – 2004), observent une période relative de six mois de chaleur et une période relative de six mois de froid.

En été les amplitudes diurnes de la température sont plus larges de 15°C à 18°C, les températures pendant la journée montent de 33 à 37°C, atteignent des valeurs maximales entre 38 et 40°C durant de courtes périodes. Les nuits, les températures minimales peuvent être 18 à 20°C. En hiver, les températures sont au dessus de 0°C, avec une moyenne minimale d'environ 5 °C; il y a fréquemment des valeurs inférieures à 0°C.

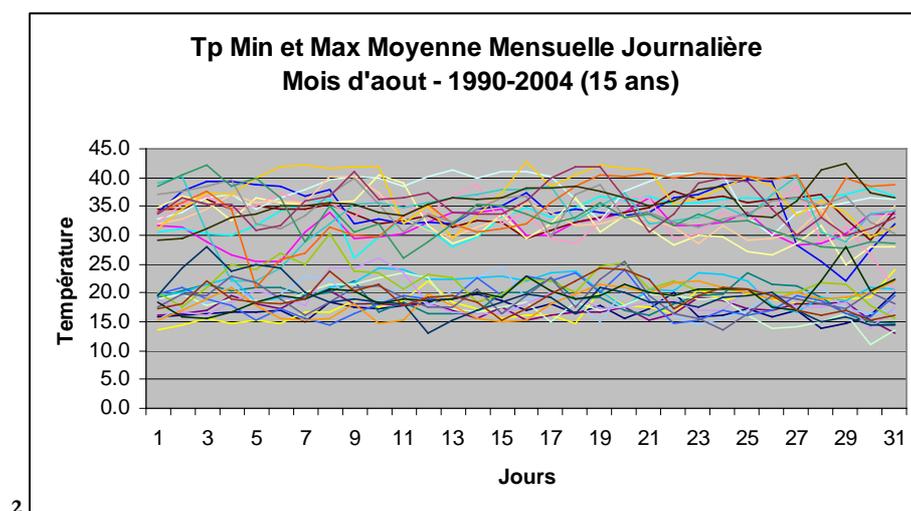


Figure 44 : Source ONS

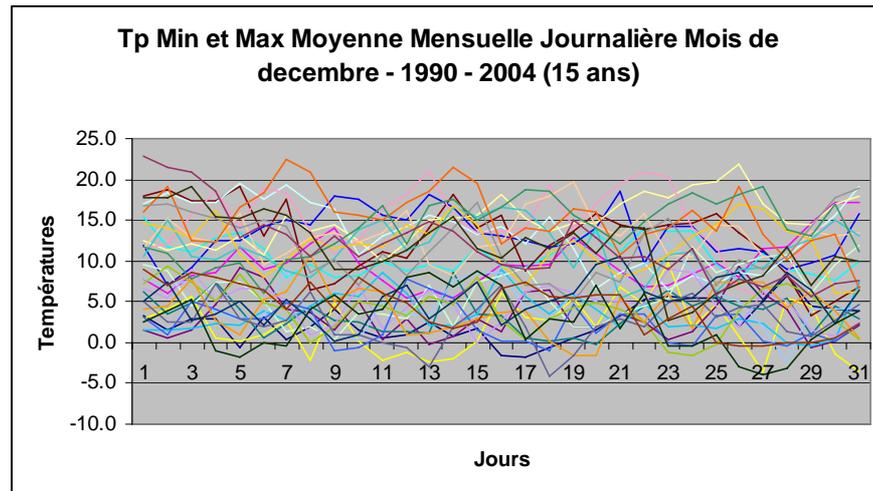


Figure 45: Source ONS

8.3.2. Le rayonnement solaire

En général, la moyenne d'ensoleillement a atteint son maximum. Selon les statistiques de ONM³⁰ de Ain El bey à Constantine, la durée d'ensoleillement entre 1990 et 2004 a atteint une valeur annuelle moyenne de 370 Wh/m² du rayonnement global et ceci entre 11h 30 et 13h 30. Au même moment, on note une valeur maximale de la moyenne mensuelle pour le mois de juillet qui est de l'ordre de 355 heures d'ensoleillement, or pendant le mois de décembre, l'ensoleillement a atteint une valeur moyenne maximale de 6 heures. On observe effectivement que la quantité de rayonnement solaire à Constantine est significative si on le compare au Sud de la méditerranée (Le Sud de la France). Ce qui explique la nette différence de température observée dans les (Figure 44) et (Figure 45) entre le mois de juillet et le mois de décembre, pendant la période 1990 et 2004. Par conséquent, l'existence d'une longue période de chaleur (avril - septembre) et une période de froid, (octobre – mars) caractérise d'une manière générale le climat de Constantine. Selon le graphe observé (Figure 46) nous pouvons dire que le rayonnement solaire calculé par SimulArch (Figure 47), est pratiquement vérifié et validé par les données mesurées obtenues de l'office national de la météo de Constantine de 1990 à 2004.

³⁰ ONM: L'office national de la météo : Constantine, Algérie

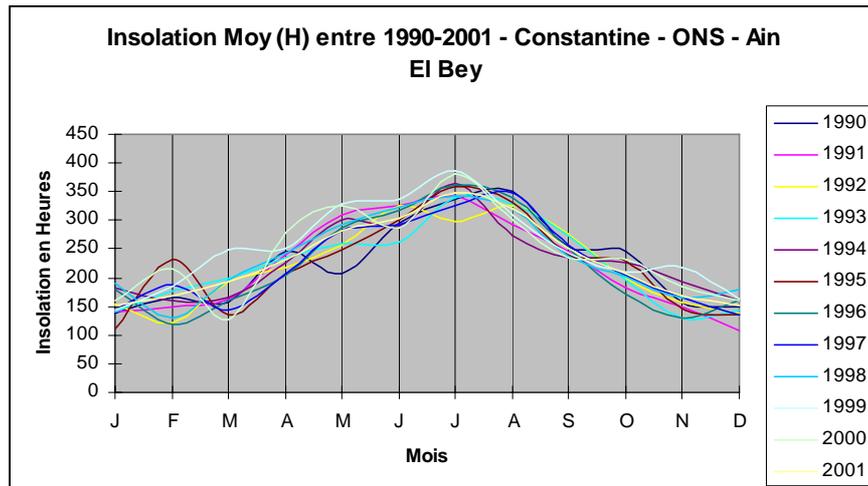


Figure 46 : Insolation en heures entre 1990 et 2004 – Source ONM – Ain El bey – Constantine

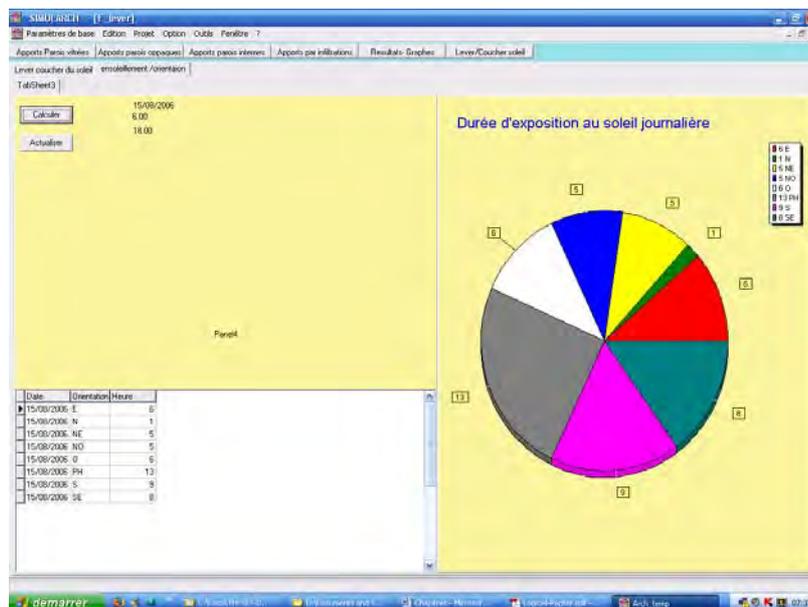


Figure 47: Durée d'exposition au soleil pendant la journée du 15 août 2006 – Source : SimulArch

La figure ci-dessus, donne la durée d'exposition journalière au soleil pour les différentes orientations des parois d'une construction quelconque à Constantine. La journée du 15 août 2006, le rayonnement solaire est supposé le plus intense de l'année avec un soleil plus haut (Ministère de l'habitat, 1993). On observe la valeur de 13 heures d'ensoleillement pour un plan horizontal (Toiture), suivi d'une valeur de 8 heures pour le Sud Est ensuite 9 heures pour le Sud. L'orientation Est et Ouest a donné une valeur de 6 heures d'exposition au soleil.

Le 21 décembre 2006, journée de solstice d’hiver (Le jour le plus court de l’année), le rayonnement solaire diminue et l’intensité devient plus faible qu’en période chaude.

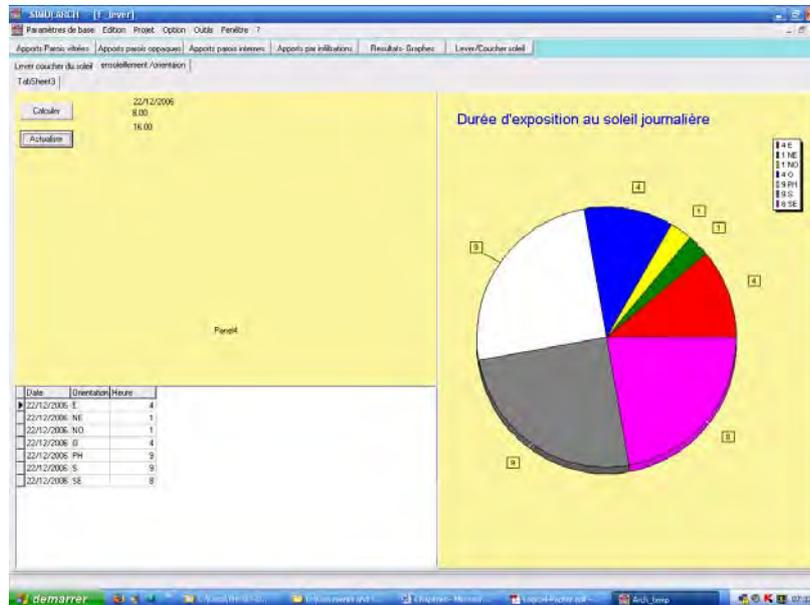


Figure 48: Durée d'exposition au soleil pendant la journée du 21 décembre 2006 à Constantine pour les différentes orientations. (Source de calcul – SimulArch)

En hiver, la durée d'exposition au soleil est faible. L'orientation Est a donnée une valeur de 4 heures seulement avec un soleil plus bas. Les orientations les plus intéressantes en hiver, dans ce cas là, sont le Sud et le Sud Est avec des valeurs respectives de 9 et 8 heures (Figure 48). La journée du 15 août à Constantine ; les flux solaires deviennent importants durant la matinée sur la façade Sud - Est. Toutes les transmissions du rayonnement solaires à travers les parois opaques et les vitres atteignent des valeurs d'énergie en KWh considérables (Figure 48). Du moment que la durée d'ensoleillement est longue (Figure 50 Courbe d'évolution de l'énergie incidente sur un plan vertical (NE) Pendant la journée du 15 août à Constantine), l'orientation Nord – Est devient aussi une source d'énergie solaire à ne pas négliger (Figure 51). SimulArch a estimé Le flux solaire global d'une paroi opaque et la transmission à travers le vitrage d'un bâtiment pour des orientations différentes. On observe effectivement que les orientations Sud – Est et Nord – Est permettent d'emmagasiner beaucoup

de chaleur dans la masse des murs extérieurs. La pénétration du rayonnement solaire dans les locaux du bâtiment peut entraîner :

- ✓ Absorption du rayonnement solaire par les parois intérieures,
- ✓ Échauffement des parois intérieures,
- ✓ Émission des parois par rayonnement de grande longueur d'onde et convection avec l'air intérieur

Cette phase d'échauffement des parois intérieures peut conduire à un phénomène d'amortissement et de retard entre l'énergie solaire entrante (apport solaire) et la chaleur restituée aux locaux (charge solaire). C'est la manifestation de "L'inertie thermique" des locaux. Les parois vitrées sont caractérisées par leur facteur solaire. Le facteur solaire est le rapport entre l'énergie thermique cédée au local et l'énergie solaire incidente au vitrage. Les parois opaques participent aussi aux apports solaires. L'analyse des apports solaires a mis en évidence le rôle de plusieurs paramètres :

L'énergie incidente : l'énergie disponible dépend évidemment du site géographique considéré (ensoleillement hivernal), de l'environnement immédiat (effet des ombres portées), et surtout de la surface et de l'orientation des parois vitrées,

La nature des vitrages : plus la vitre est transparente au rayonnement solaire, plus la quantité d'énergie entrante est importante. Un double vitrage possède un coefficient K plus faible qu'un vitrage simple (donc moins de déperditions), par contre la présence de deux vitres diminue son facteur solaire (donc moins d'apports de chaleur). Un compromis entre coefficient de transfert et facteur solaire doit donc être trouvé. (Figure 52).

La surchauffe des locaux risque également de survenir en été. Si les locaux sont climatisés, l'appel de puissance et la consommation des équipements seront très importants. La réduction estivale de la charge solaire est donc indispensable. Cela peut être réalisé par la mise en œuvre de protections solaires adaptées et d'une inertie thermique importante et d'autres moyens techniques pour préserver un confort acceptable comme on le découvrira dans le chapitre des recommandations



Figure 49 Courbe d'évolution de l'énergie incidente sur un plan vertical (SE) Pendant la journée du 15 août à Constantine

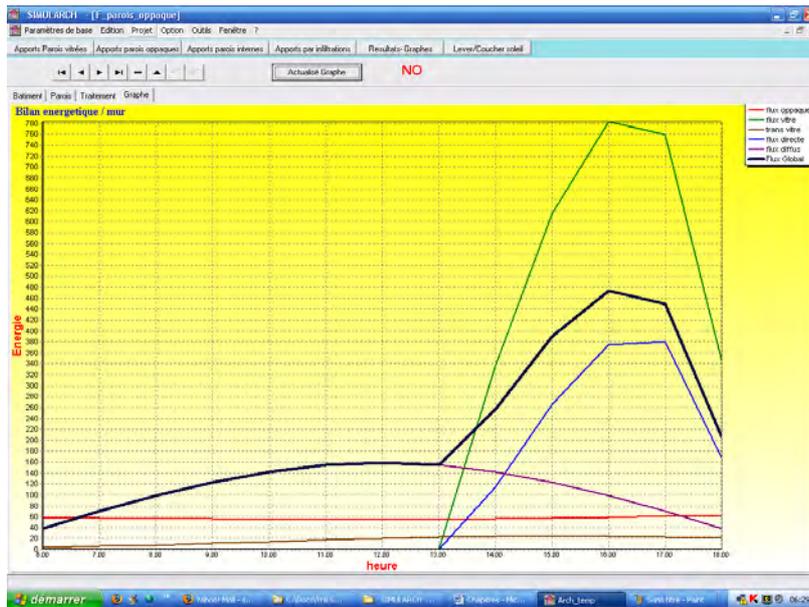


Figure 50 Courbe d'évolution de l'énergie incidente sur un plan vertical (NE) Pendant la journée du 15 août à Constantine



Figure 51 Courbe d'évolution de l'énergie incidente sur différentes Orientations de parois opaques pendant la journée du 15 août à Constantine

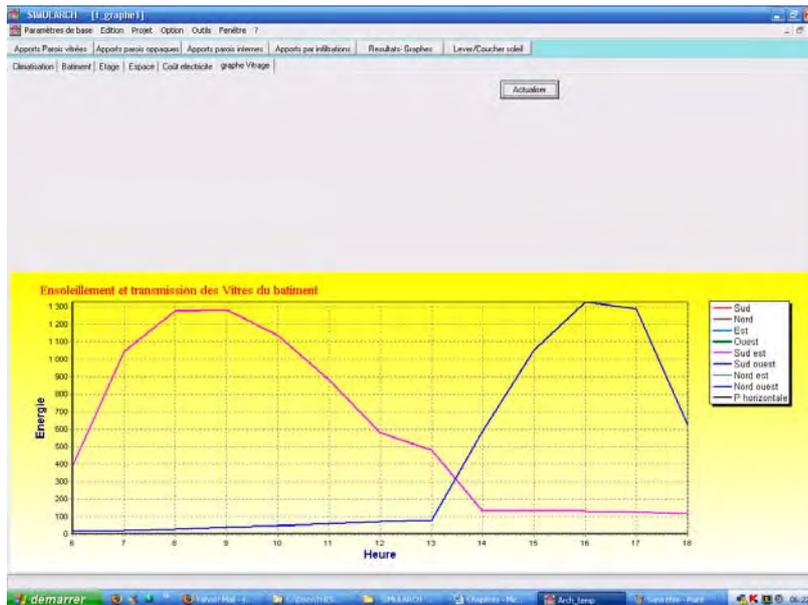


Figure 52 Courbe d'évolution de l'énergie incidente sur différentes Orientations de vitrages pendant la journée du 15 août à Constantine

En situation hivernale, le rayonnement solaire devient indispensable pour le confort intérieur. Cette partie des apports solaires participe effectivement au chauffage des locaux. La journée la plus courte à Constantine est évidemment le 21 décembre. En 2006, le solstice d'hiver a présenté un flux global de chaleur maximum en milieu de journée sur une façade orientée au Nord – Est. Ce maxi-

mum représente en réalité une valeur énergétique solaire évidemment négligeable par rapport à la valeur minimale moyenne en période estivale. Figure 53 Incidences solaires du 21 décembre 2006 (Source SimulArch) – Façade Nord –). Le plan vertical orienté au Sud – Est subi un rayonnement solaire assez intéressant en conditions normales à Constantine. Le flux global (transmission à travers la vitre et le flux direct) atteint une quantité de chaleur de 0.130 KWh à 10 h du matin, ce qui représente un seuil de gain énergétique non souhaitable dans la contribution du chauffage naturel des espaces. (Figure 55).



Figure 53 Incidences solaires du 21 décembre 2006 (Source SimulArch) – Façade Nord – Ouest Source : SimulArch



Figure 54 Incidences solaires du 21 décembre 2006
(Source SimulArch) – Façade Sud – Est – Source : SimulArch



Figure 55 Rayonnement solaire à travers la vitre (21 décembre 2006 à Constantine)
Source : SimulArch

Le contrôle des apports de chaleur par l'architecture est une nécessité en Algérie et cela quelque soit le lieu sur l'ensemble du territoire algérien.

8.4. Description du logement en Algérie

8.4.1. Etude paramétrique de l'espace 'Logement'

La première caractéristique du logement en Algérie est le social. Du point de vue technique, la typologie de l'habitat actuelle tourne autour d'un système constructif basé sur la préfabrication, le poteau – poutre et les matériaux tels que le béton, le parpaing et la brique creuse. Tous ces éléments ont toujours contribué à produire un logement typifié et dont la hauteur en moyenne du bâtiment atteint les quatre niveaux. Selon les programmes de développement de l'état Algérien, une grande partie du parc immobilier est de type social. Les configurations spatiales du logement sont composées généralement de trois ou quatre chambres, un séjour, une salle de bain, un WC, une cuisine, un hall ou un couloir avec un séchoir et une véranda. Rappelons que, devant le vide de la réglementation technique, et du fait de la crise de logements, on a observé au cours des deux décennies 1980 -2000 et jusqu'à à l'heure actuelle, la construction massive et irréfléchie de modèles industriels et typifiés de bâtiments à forte consommation énergétique et insuffisamment maîtrisés par les pays en voie de développement. Cette transplantation de ce type de bâtiment conçus pour d'autres latitudes dans nos régions, aux caractéristiques climatiques spécifiques (Hauts Plateaux – Sahara), s'est heuré à un phénomène de rejet très fort. Le modèle de construction est pratiquement identique à travers tout le territoire national. Ainsi la répartition de ce même type de logements occupés selon le recensement général de la population et de l'habitat de 1998, est présentée sous la forme suivante (Figure 56) : Nous écartons dans cette étude le type traditionnel qui utilise un autre type de matériaux.

Type de Construction	Nombre en Algérie	%
Immeuble d'habitation	657491	16.11
Maison Individuelle	2299629	56.34
Maison traditionnelle	860164	21.07
Autres Ordinaires	28332	0.69
Constructions Précaires	222412	5.45
Non Déclarée	13720	0.34

Figure 56: Logements Occupés selon le type de Construction - (R.G.P.H. 1998)

Le secteur d'habitat résidentiel représente donc plus de 25% de la consommation nationale algérienne en énergie. Ce chiffre a tendance à augmenter du fait du développement urbain et de l'augmentation de la consommation énergétique, car la répartition des logements selon le type de construction est de 34.29% pour le logement à caractère collectif (ONS, Office national des statistiques – recensement 1998), ce qui représente plus du tiers du parc immobilier de la wilaya de Constantine.

D'autre part, l'augmentation du niveau d'exploitation fait que les personnes chauffent en hiver et se refroidissent en été par des systèmes convecteur, climatiseur, poêle à mazout et au gaz naturel. Hors, le réseau électrique dans certaines zones urbaines n'a pas été dimensionné pour ces appels de puissances, ce qui le fragilise. Il est, par conséquent, indispensable de réduire la consommation de l'énergie à travers l'amélioration de l'efficacité énergétique notamment dans le secteur du bâtiment. (Le logement social et la ville, 1999).

Notre travail consiste, à partir de l'analyse des propriétés des matériaux de construction utilisés au Nord de l'Algérie, à évaluer les consommations énergétiques potentielles qu'il faudrait pour atteindre actuellement un niveau de confort convenable en période froide et en période chaude. Le travail réalisé constitue, dès à présent la première phase et permet de poser les bases d'anticipation sur l'augmentation des revendications sociétales en matière de confort, accompagnant le développement économique du pays et donc l'augmentation du niveau

de vie. Pratiquement, tous les logements ne semblent pas répondre aux exigences du confort thermique et d'économie d'énergie. Cela s'explique par l'absence d'une réglementation spécifique d'une part, par le manque de savoir-faire et une méconnaissance du sujet par les maîtres d'ouvrage. L'amélioration des techniques, au niveau des matériaux de construction et d'isolation, permet aujourd'hui de réaliser des bâtiments qui rassemblent à la fois les qualités esthétiques et thermiques, tout en offrant un cadre de vie plus confortable et en étant consommateur de très peu d'énergie. De ce fait, cette recherche sera portée sur un logement conventionnel (Social) de type F3 (Figure 59) et dont la superficie est d'environ 75 m² en moyenne. D'une manière générale, les murs extérieurs (Figure 57) sont en brique creuse double peau espacé d'une lame d'air (05 cm), les murs intérieurs sont constitués de simples cloisons de 10 cm d'épaisseur en briques creuses, ces types de parois représentent les cas les plus fréquents en Algérie ; alors que le plafond et le plancher sont en corps creux de 20 cm d'épaisseur. La hauteur sous plafond est de 2.53 m. Le logement est orienté Est-Ouest et sans vis-à-vis, ce qui permet un captage solaire. (S.M.K El Hassar, 1995).

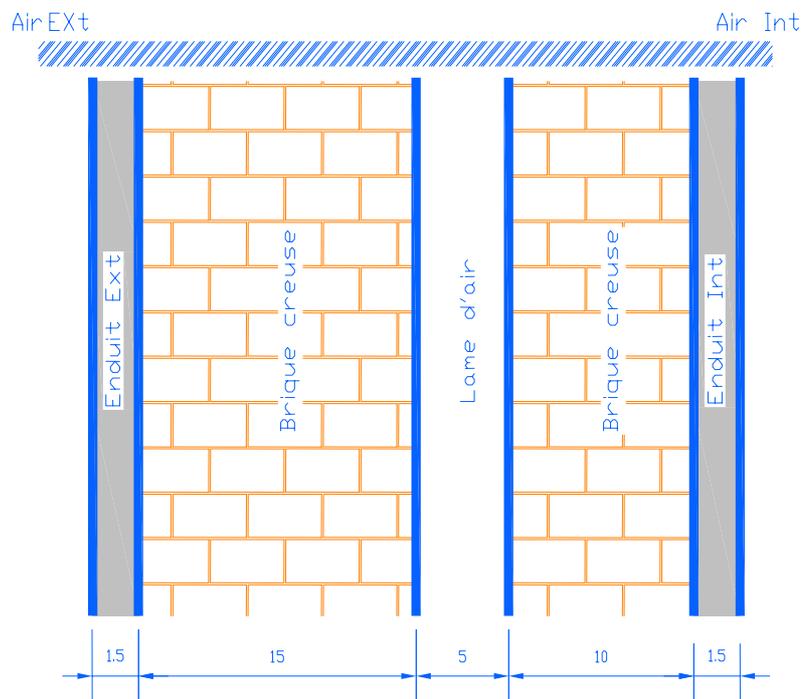


Figure 57 Section d'un mur extérieur d'un logement F3 ou F4 en Algérie

Enduit plâtre, $\lambda = 0.35 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ - Brique creuses, $\lambda = 0.56 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ - Hourdis en béton courant pour le plancher, $\lambda = 0.23 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$.

L'appartement à étudier limité par une cage d'escalier est d'une organisation architecturale typique des habitations neuves, réalisées dans le cadre de la politique du logement social en Algérie. Cet appartement, qui (Figure 58) appartient à un bloc de cinq niveaux, est implanté à Ain El bey à Constantine. L'appartement étudié est situé au troisième étage du bâtiment. Ce système constructif a été très utilisé dans le cadre de grands programmes de réalisation de bâtiments pour sa rapidité d'exécution et sa stabilité. Quasiment abandonné dans les années 1990 au profit de systèmes constructifs de type filaire (portiques auto stable), il revient en force dans les nouveaux programmes de construction. Ce système constructif pourrait même être généralisé, et ce, suite aux premières recommandations émises après le terrible séisme du 21 mai 2003 qui a frappé principalement les wilayas d'Alger et Boumerdès. La tendance actuelle est d'associer à ce type de structure un remplissage en maçonnerie creuse. La structure des bâtiments généralement était en béton armé : voiles de 15 cm associés à des dalles de 16 cm d'épaisseur. Les façades sont constituées de panneaux préfabriqués en béton armé de 23 cm d'épaisseur, sans isolation thermique. La valeur du coefficient global de transmission surfacique de ces panneaux avoisine $3.5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Cette valeur est très éloignée de la valeur de référence qui est égale à $1.2 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ (Ministère de l'habitat et de l'urbanisme, CNERIB, 1997)

Les caractéristiques thermiques des matériaux utilisés sont présentées dans (l'Annexe des Tableaux 10-17) ; il faut noter que ces caractéristiques sont tirées de la littérature (C.A. Roulet ; 1987) et (Règles Th-K77, règles de calcul 1977). Une bibliothèque des matériaux est implantée dans SimulArch proposant tout les matériaux nécessaires pour la construction en Algérie) ;



Figure 58: Façade Est de l'immeuble étudié.

8.4.2. Les ponts thermiques

On estime que la part des ponts thermiques, dans les déperditions par les parois, peut représenter une part importante si aucune précaution n'est prise. Les déperditions linéiques pour qualifier les déperditions par les ponts thermiques, en référence aux liaisons du type dalle de plancher/mur extérieur, sont prises en compte avec une certaine limite suivant le mode constructif et le mode d'isolation de bâtiment. Pour l'instant, l'exigence réglementaire n'est pas encore très forte, les valeurs que nous retenons dans notre étude sont les valeurs de la (Figure 15). La menuiserie est au nu intérieure avec un k en W/hm^2 . La présence d'un poteau de 30x30 cm est à l'angle du logement en question, avec un k linéique et nous retenons aussi le k linéique d'un plancher intermédiaire à hourdis également (Annexe Tableaux 29). Le nul (la valeur de $k=0$) signifie que la présence de l'isolation dans les murs extérieurs ou au niveau du plancher est inexistante. Généralement, dans le mode constructif que présente l'Algérie dans sa politique de logement, l'isolant est quasiment absent de la structure du bâtiment. Selon la réglementation Algérienne, ce cas n'est pas pris en considération.

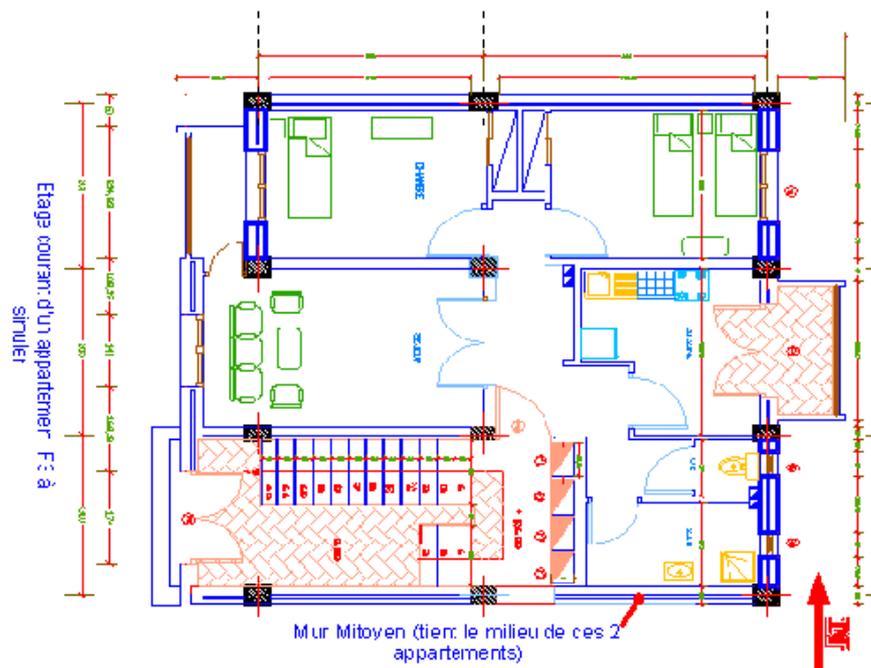


Figure 59 Configuration de l'appartement étudié

8.4.3. La présence de l'isolant dans les parois

Notre cas d'étude est caractérisé par l'absence d'un quelconque isolant connu sur le marché (Polystyrène expansé, Laine de verre ou liège). Par contre une lame d'air de 5 cm est prévue entre les deux murettes de briques creuses de 15 et 10 cm. (El Kortbi, M and all, 1999).

8.4.4. Le zonage thermique

Le comportement thermique du volume à étudier est supposé homogène. Une seule zone peut faire l'objet d'une étude énergétique. L'existence d'une seule zone peut être justifiée par son usage, ses apports internes et surtout par son équipement de chauffage à gaz naturel. Pour effectuer des simulations dans de bonnes conditions, on aura intérêt à minimiser le nombre de zones pour diminuer le temps de calcul et éviter les divergences numériques. Dans notre cas, on peut

considérer que nous avons une zone ; le logement F3. Les simulations seront menées pour un niveau courant (qui représente le cas le fréquent) en considérant que, le logement est chauffé à la même température de consigne, ce qui signifie que les échanges de chaleur entre espaces peuvent être négligés.

8.4.5. Scénario d'occupation

On considère que le nombre maximum de personnes est de cinq personnes présentes dans le logement. Le taux d'occupation du logement en question est pratiquement de 50% entre 8H et 17H et de 100% le reste de la journée.

La présence des personnes dans les logements est irrégulière. Nous avons constatés que les familles dont le couple occupe une fonction, le taux d'exploitation des espaces est pratiquement nul. Autrement dit, les gains de chaleur internes, le débit de ventilation et l'utilisation du chauffage restent constants. Les familles qui résident dans les logements, d'un même bloc d'un bâtiment, peuvent se comporter différemment que ce soit sur le plan de l'occupation ou même sur l'appropriation de l'espace et la perception du confort en général ; nous retenons le cas le plus fréquent (Annexe Tableaux 39 à 42).

8.4.6. Le débit de ventilation

Le volet des déperditions dues aux renouvellements d'air est un poste important mais souvent difficile à estimer, car chaque défaut d'étanchéité d'une menuiserie intervient dans le total en plus, éventuellement, de la ventilation mécanique contrôlée obligatoire dans le logement. Les apports, dus aux infiltrations qui interviennent directement dans le bilan du logement, sont associés au débit d'infiltration de l'espace en question. Les valeurs du débit extrait minimales de référence sont données dans (Annexe Tableau 24) en fonction du nombre de pièces principales du logement. Ainsi, le débit extrait maximal de référence est la somme des débits extraits de chaque pièce de service du logement, dont les valeurs sont données dans (Annexe Tableau 16). La perméabilité de chaque façade à l'air en m^3/h figure dans (Annexe Tableau 28), qui est fonction du coefficient d'exposition au vent de la façade en question (Annexe Tableau 27).

8.4.7. Baies vitrées

Les fenêtres sont à simple vitrage avec un cadre en bois dont l'étanchéité à l'air est de qualité médiocre. Un type de fenêtres les plus fréquents avec des dimensions presque conventionnées, très inadaptées aux conditions climatiques de la région, et dont le contrôle de l'ensoleillement est quasi inexistant. Toutes les fenêtres sont équipées de volets en bois, excepté celles de la loggia et le séchoir. Généralement, ces fenêtres ont un retrait par rapport au nu externe de la paroi environ de 18 cm. Ce retrait amortit l'intensité du rayonnement solaire sur le plan verticale de la façade (Figure 60). La protection de la façade du soleil n'est soumise à aucun dispositif de brise soleil ou auvent.

Les auvents horizontaux, les casquettes, les stores extérieurs, la loggia ou encore les débords de toitures sont des pare-soleil horizontaux_(ils projettent leur ombre sur les murs ou les baies). Leurs caractéristiques géométriques sont présentées par d/h (rapport de la longueur du débord sur la hauteur de la paroi protégée) pour les différents cas de figure (Figure 86) suivant l'orientation des parois. (Voir Annexe Tableaux).

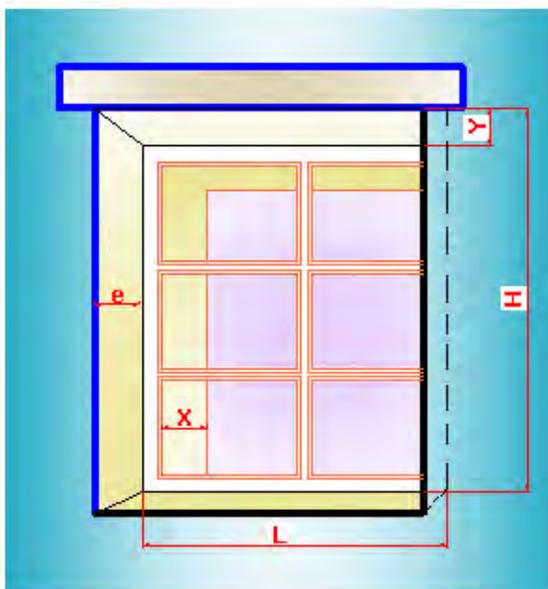


Figure 60 Fenêtre conventionnelle avec un léger retrait

8.4.8 Mode de chauffage

Le système de chauffage est constitué d'un poêle à gaz naturel. Deux types d'énergies sont utilisés dans ce logement : l'énergie calorifique provenant de la combustion du gaz naturel pour le chauffage, la cuisson des aliments ainsi que pour la production d'eau chaude et l'énergie électrique pour tous les autres usages. Le système de chauffage est constitué d'un poêle en fer placé dans le hall d'entrée (Figure 61). Le poêle fonctionne en mode intermittent, dès qu'il y a sensation de froid, il est mis en marche ; dès qu'il y a sensation de confort, le poêle est arrêté. La puissance nominale du poêle est légèrement supérieure à 8 KW ce qui est suffisant, en théorie, pour assurer le chauffage d'une habitation située près du littoral (ROULET C.A, 1987,).

L'aération des espaces est assurée par l'inétanchéité des menuiseries et par l'ouverture des ouvrants de la cuisine, en moyenne d'une heure et demi (Scénario qui correspond à la période de décembre jusqu'au mois de mars). A ce moment, le poêle est à l'arrêt. Les tableaux 39 à 42 (Annexe Tableaux) donnent des facteurs de correction k_1 , k_2 , k_3 et k_4 en fonction de la masse du bâtiment. Dans notre cas, on considère que le logement est d'une inertie moyenne, avec remplissage en briques creuses et un léger partitionnement. L'utilisation du chauffage

est presque à 50%, nous considérons que le chauffage fonctionne durablement après 17H période de la présence de tous les membres de la famille.

Ce logement ne dispose pas d'un système de climatisation pour l'été. A l'inverse du bâtiment dans les régions nordiques du globe, le bâtiment dans toutes les régions climatiques algériennes, doit certainement poser au concepteur, du point de vue théorique, non seulement un problème d'hiver, mais également et surtout, un problème d'été. La consommation de l'énergie pour le chauffage est proportionnelle à la consommation de l'énergie dépensée pour garder une température de confort pendant le mois d'août.



Figure 61 : Chauffage à Gaz Naturel d'appartement dans un logement généralement de type F3

8.4.9. La consommation d'énergie dans la cellule TEST.

Deux grandeurs physiques ont fait l'objet de mesures in situ de l'année 2002 à 2004. :

Le relevé des consommations de gaz (en Thermie) de la cellule Test de la commune 25501 TEE (Tournée) 23, durant les quatre trimestres de l'année 2002 à 2005, et le relevé de la consommation électrique (en KWh) globale du logement en question de la commune 25501 TEE (Tournée) 23 durant les quatre trimestres de l'année 2002 à 2004. Figure 62 montre l'exploitation du chauffage durant les deux premiers trimestres due à une baisse de température pendant cette période. On constate également que l'utilisateur exploite de moins en moins le

gaz pour le chauffage dû à l'augmentation de la température externe pendant cette période. Le gaz naturel est seulement utilisé pendant la période de chauffage et pour la cuisson. Inversement, l'énergie électrique est utilisée partiellement pendant la saison chaude pour rafraîchir l'ambiance intérieure par le biais d'un auxiliaire d'appoint qui est le climatiseur. Une partie de l'énergie électrique est utilisée également pour la cuisson et certains appareils d'électroménagers (Figure 63).

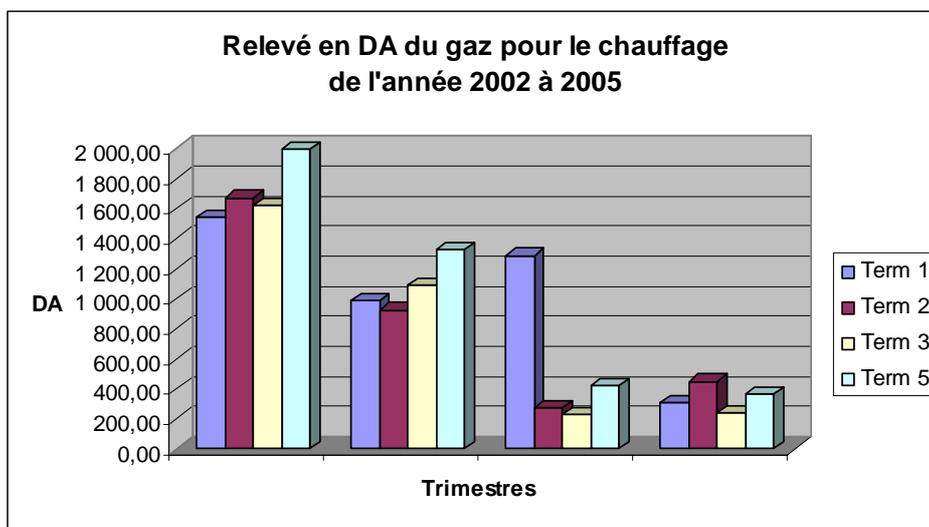


Figure 62: Relevé de la consommation du gaz en KWH pour le chauffage de l'abonné de la cellule Test – (Source de données : Sonelgaz, Commune : 25501 TEE (tournée) 23 – Constantine)

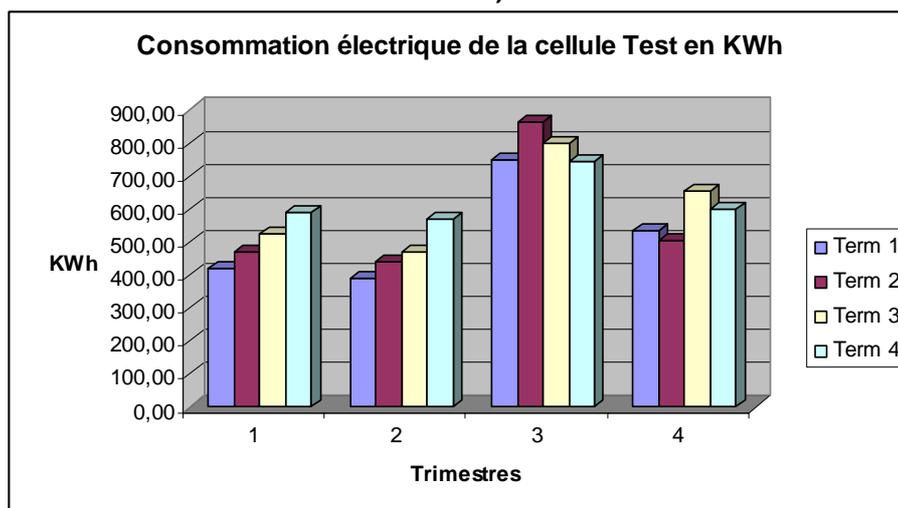


Figure 63: Consommation électrique de la cellule Test de l'année 2002 à l'année 2005
Source de données : Sonelgaz, Commune : 25501 TEE (tournée) 23 – Constantine

La base de données est obtenue de la SONEGGAZ concernant un relevé de 22 abonnés, d'un appartement de même type (F3) à la cité du 20 Août à Constantine, de l'année 2002 à l'année 2005. Elle révèle qu'une moyenne de consommation d'énergie pour le chauffage est estimée à 10863.11 DA par an pour un confort minimum (17000 thermie/an pour un F3 en Algérie ; Source : SONEGGAZ). La température ambiante d'une pièce de séjour doit se situer entre 18 et 24°C (elle dépend de l'activité, des vêtements et de la durée du séjour).

Nous constatons une fluctuation des données en "Chahutage"³¹ qui montrent que l'utilisation du système de chauffage pendant la période froide, est irrégulière et intermittente (Figure 64). Rappelons que ce chahutage de données s'explique par une irrégularité de la consommation de l'énergie pour le chauffage ; cela est dû soit par mesure d'économie ou par l'utilisation intermittente du système de chauffage (abonnés absents). Ces chiffres, qui peuvent dépasser de loin la moyenne de consommation du gaz ou de l'électricité dans un ménage sont dus à une surexploitation incontrôlée ou piratage de l'énergie ou une longue absence de l'abonné

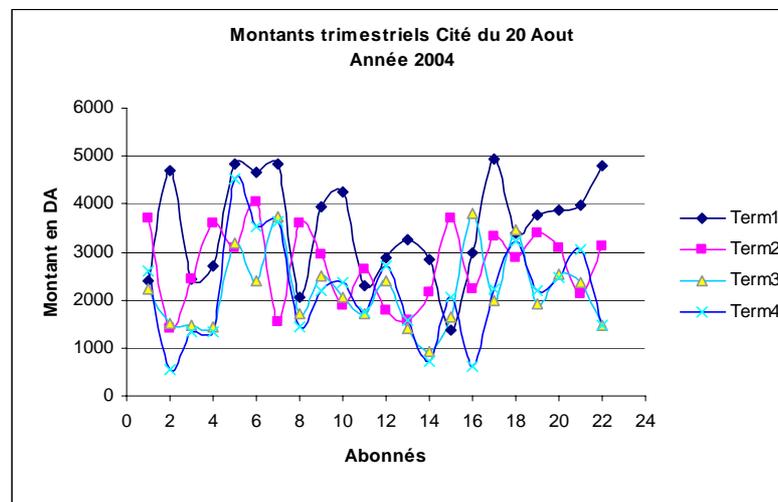


Figure 64 . Consommation trimestrielle pour un logement au 20 août pour 22 abonnés (Source de données : SONEGGAZ, commune 25501 TEE 23)

³¹ Chahutage : Terme utilisé par les experts de la Sonelgaz en observant un graphe mouvementé.

8.5. Phase expérimentale : Analyse et discussion des résultats obtenus

La cellule Test permet de comparer les résultats des simulations à des mesures collectées auprès de la Sonelgaz. Les bancs d'essais permettent de faire varier de nombreux paramètres, et ainsi d'étudier la sensibilité de l'outil SimulArch. Cette phase expérimentale apporte une contribution à l'état des lieux en matière de validation de l'outil de simulation thermique des bâtiments proposés. Notons que, l'étude paramétrique des performances thermiques établie sur un seul model de cellule test de type F3, est considérée suffisante du fait de la conception typifiée des appartements. Le besoin en énergie pour un F3, un F4 ou pour une maison individuelle est basé sur le volume global et surtout l'adoption d'une manière générale du même mode de construction à savoir une double murette en brique avec une lame d'air ou un panneau préfabriqué en béton armé.

8.5.1. Qualité thermique de l'enveloppe de la cellule test

L'enveloppe du bâtiment est le premier des éléments sur lequel le concepteur doit intervenir, pour créer, à l'intérieur de son ouvrage, des conditions de confort satisfaisantes. Les architectures climatiques jouent sur différents paramètres :

- ✓ Capter le soleil en hiver,
- ✓ Réduire les apports de chaleur en été,
- ✓ Se protéger du vent froid mais favoriser la ventilation tout en limitant les risques d'effraction,
- ✓ Bien voir à l'intérieur et vers l'extérieur en tenant compte de la luminosité spécifique de la région.

Il s'agit de contrôler les déperditions de chaleur vers l'extérieur (situation Hivernale). La valeur du coefficient K, (conductance globale en $[W/m^2\text{°C}]$) qui caractérise en régime permanent la qualité thermique de ces parois, est calculée par SimulArch selon la composition des murs extérieures (Figure 57) et représentée dans le (Tableau 7), on rappelle que l'enveloppe étudiée est démunie d'un quelconque isolant ; K des murs extérieurs composés d'un doublage en briques, d'une lame d'air et enduits aux deux faces.

Coefficient de déperdition des murs de la cellule Test - F3					
Mur Extérieur	E cm	R m ² °C/W	Isolant	K.W/m ² °C	Vérification
Mur Est	28	.0.81	Lame d'air 4 m	7.30	Non conforme
Mur Nord	28	0.81	Lame d'air. 4 cm	7.30	Non conforme
Mur Ouest	28	0.81	Lame d'air. 4 cm	7.30	Non conforme

Tableau 7 : Composition d'un mur extérieur classique utilisé habituellement dans les constructions

La démarche du calcul du U global, qui spécifie les déperditions par heure et par m², est représentée consécutivement par les boites dialogue du logiciel Simu-1Arch dans les (Figure 65: Echange thermique par convection) jusqu'à la (Figure 70).

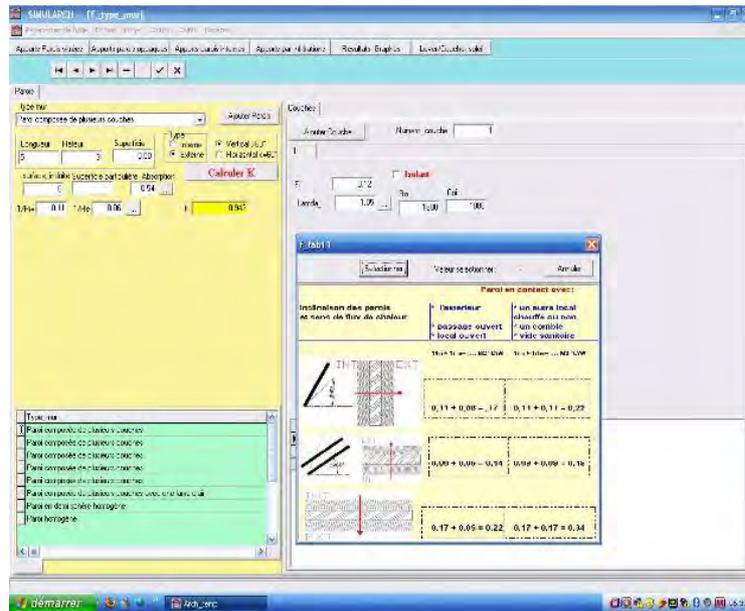


Figure 65: Echange thermique par convection en fonction de la position de la paroi

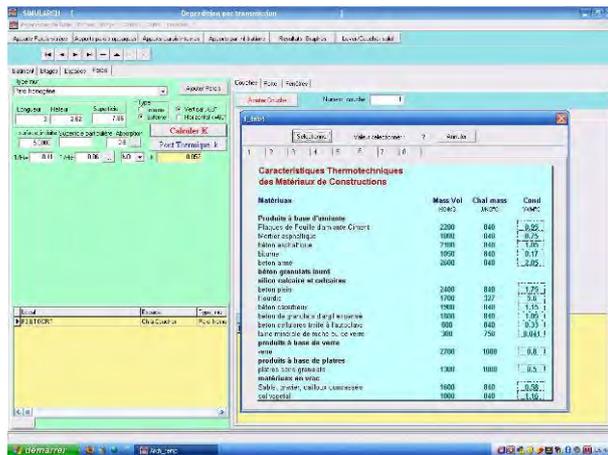


Figure 66: Calcul de K à partir d'une bibliothèque de matériaux

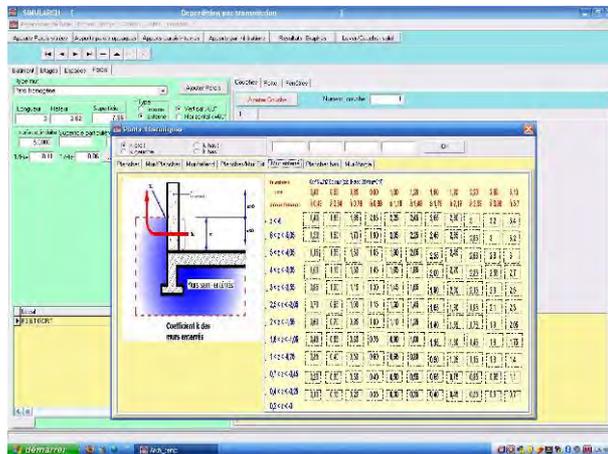


Figure 67: Etude des ponts thermique. Choix des paramètres à partir d'une bibliothèque

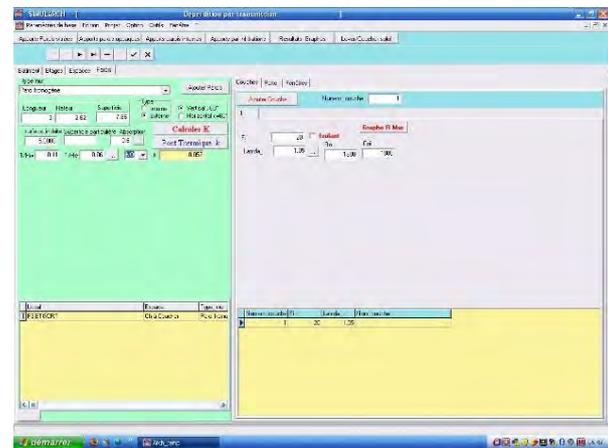


Figure 68: Présence ou non de l'isolant

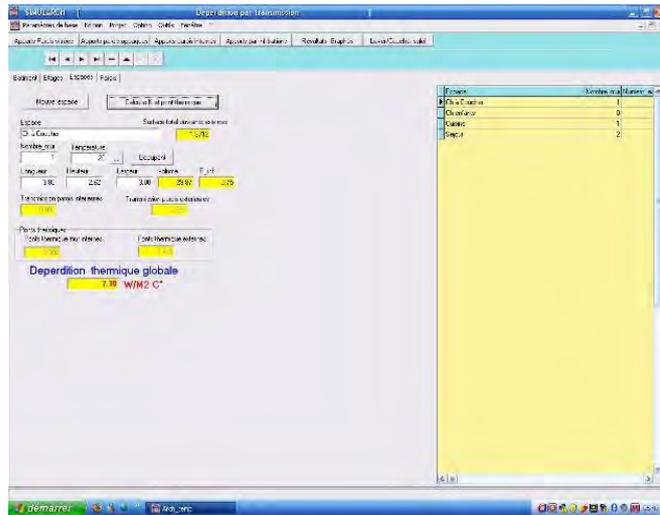


Figure 69: Calcul du K Global du F3

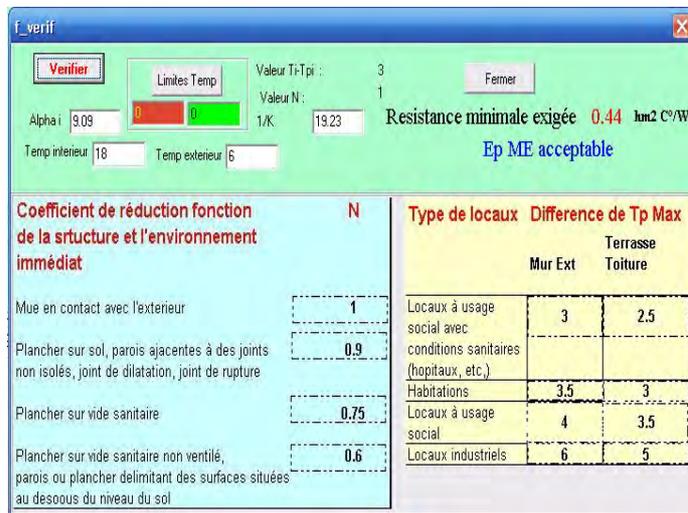


Figure 70: Resistance minimale exigée des murs extérieurs

8.5.2. Commentaire sur le comportement thermique de l'appartement F3 simulé : l'Enveloppe

Le mur, en double parois en briques creuses avec une lame d'air de 5 cm est le plus fréquemment utilisé au niveau des projets en Algérie. La simulation a donné une valeur de K global (appartement F3) de 7.3 W/m²°C. La valeur obtenue est loin de la norme requise par la réglementation thermique qui est de l'ordre de 1.2 W/m²°C, un rapport de six fois la valeur normale. Par conséquent, la consommation de l'énergie, pour le chauffage de l'appartement, est considérablement importante, elle représente pratiquement une énergie pour la faire fonctionner du-

rant 120 heures (60 Watts x 20 heures = 1200 Wattheures = 1.200 Wh = 1,2 KWh). A cela, s'ajoute évidemment les pertes par les liaisons qui sont les ponts thermiques. Dans cette étude les ponts thermiques ont représenté 20 % des déperditions totales hors ventilation. Notons que les ouvertures représentent une valeur non négligeable de l'ensemble des déperditions de l'appartement et qui est évaluée en moyenne de 25 à 35 % des pertes totales. De ce fait, la résistance des matériaux est faible devant les différents agents extérieurs de l'environnement.

La majorité des enveloppes des bâtiments à caractère résidentiel en Algérie, est dotée seulement d'une lame d'air qui ne dépasse pas 5 cm, une résistance assez faible pour parer au froid ou à la chaleur des saisons. Les parois ; murs non isolés sont froids par "contact" avec l'extérieur, provoquent des sensations d'inconfort. Autrement dit, une bonne isolation supprime cet effet « paroi froide » et les espaces à proximité des parois deviennent ainsi "utilisables". Enfin, l'isolation thermique permet souvent d'améliorer l'isolation acoustique. Traditionnellement, l'isolation thermique d'une habitation est épaisse de huit à dix centimètres. Dans le cas d'une maison passive et économe, elle dépasse les trente centimètres d'épaisseur.

8.5.3. Commentaire sur le comportement thermique de l'appartement F3 simulé : Ventilation

Selon les résultats obtenus dans SimulArch, le transfert de chaleur global par les parois opaques présente le plus grand pourcentage de l'ordre de 66% suivit par les déperditions à travers les vitres de l'ordre de 23%. Les déperditions par le renouvellement de l'air affichent une valeur minime de 5%. Les déperditions à travers les murs extérieurs représentent donc pratiquement 2/3 du total des déperditions (Figure 71). Nous estimons que les déperditions par renouvellement d'air varient en fonction de la qualité des menuiseries (choix selon le matériau et le type de vitrage) et surtout par la réduction de la surface des ouvrants (SimulArch : boîte de dialogue : Postes et Fenêtres). La réduction des dimensions des ouvrants a entraîné un gain de 15% sur les déperditions à travers les parois vitrées, 2% sur les déperditions par renouvellement d'air et finalement un gain de

1% sur les déperditions totales (Figure 71). A cet effet, toute transformation et amélioration dans la structure du bâtiment en ajoutant ou en renforçant un isolant (jusqu'à 30 cm), ou en ajustant le gabarit des fenêtres, tout cela apporte un gain dans la consommation de l'énergie durant les périodes chaudes ou froides (Tableau 8), (Figure 73) et (Figure 74). Notons que le doublage des vitres est devenu indispensable dans les pays où la réglementation thermique est imposée (triple et quadruple vitrage dans les pays scandinaves).

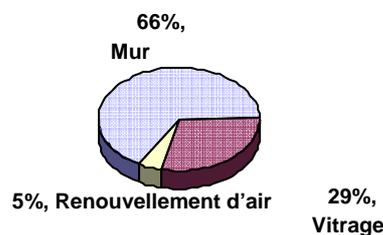


Figure 71: Renouvellement d'air

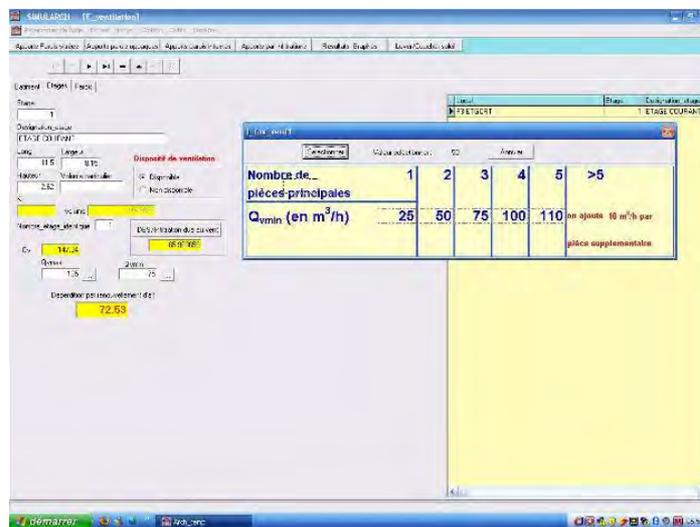


Figure 72: Déperditions totales du logement

La Sonelgaz, qui compte actuellement un nombre de 4.708 millions de clients "électricité" et 1.464 million de clients "gaz" ; la possibilité de gagner un KWh par ménages est considérée comme étant non seulement un apaisement sur la

facture mais surtout essentiel pour la réduction du CO₂ dans la lutte contre l'accroissement de l'effet de serre et l'émission du gaz. (Chelloug F.Z, 2000).

Perte d'énergie avant transformation en W/°C	Changements effectués	Pertes après transformation en W/°C	Gain %
791.55	Mise en place du polystyrène expansé	590.68	25
	Réduction des dimensions	680.25	14
	Renforcement du vitrage	701.59	11
	Renforcement de l'isolation, du vitrage et réduction de la surface des fenêtres	553.67	30
	Réorientation de la façade Nord Ouest	467.59	14

Tableau 8: Total des déperditions et gains moyens en W/°C du logement estimés après simulation des paramètres dans SimulArch pour un logement de type F3

The screenshot shows the SimulArch software interface. The main window displays the following information:

- Location:** wilaya: CONSTANTINE, Localite: F3-ETGCRT
- Date:** 21/12/2004 (NB: Date de calcul d'esoleillement)
- Energy Parameters:** Brut_elect: 140.04 DA, Jour_clim: 0, coef: 1.35, Dj: 3024.5
- Annual Energy Costs:**
 - Montant_elec (Climatisation): 0.00 DA
 - Montant_gaz (Chauffage): 14269.26 DA
 - Montant_total: 11500.00 DA
- Comfort Conditions:** Tp Int conf: 18, Tp debut chauf: 12, Tp debut clim: 37, Temp base externe: 34 (periode été)
- Additional Info:** NB: Periode hiver tmpB=1 pour Constantine

Figure 73 Energie estimée avant transformation (SimulArch)

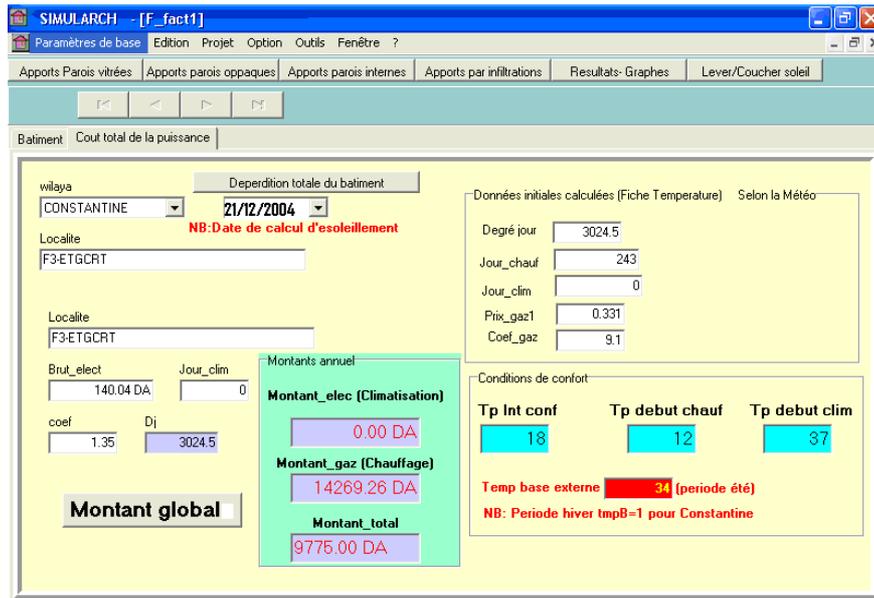


Figure 74 Energie estimée après transformation (SimulArch).

L'analyse de la simulation du comportement thermique du logement en période froide (décembre 2004), montre que la modification de l'enveloppe du bâti en liaison avec les différentes orientations possibles les mieux adaptées aux apports solaires et les pertes par ventilation, tributaires de la perméabilité des ouvrants, signifie que les pertes de chaleur par transmission à travers les murs extérieurs, toiture et plateforme représentent le double de la totalité des déperditions du logement. L'isolant a permis, à lui seul, de réduire les déperditions de l'ordre de 25% et, par conséquent, une réduction du montant de la facture de chauffage dû à une élévation de température intérieure de la face intérieure du mur extérieur.

Notons que les grandes surfaces de vitrages, non protégées, conduisent à de très fortes consommations d'énergie et, implicitement, à des surchauffes en été. La diminution des surfaces des ouvrants dans ce logement nous a fait économiser 14% d'énergie. Une importante surface de vitrage entraîne une perte considérable de chaleur. Le double vitrage a un effet positif sur la consommation de chauffage. Cela représente 11% de gain d'énergie si on adopte un double vitrage de 3 mm d'épaisseur chacun.

La réorientation de la façade principale du Nord-Ouest vers le Sud - Est a enregistré un gain de chaleur de 14%, car une très forte différence de température

est produite en direction du Nord–Ouest provoquant ainsi de très lourdes pertes de chaleur.

Par conséquent, si on adopte de multiples solutions en modifiant la structure, à savoir le renforcement de l'isolant, la diminution des ouvrants et le doublage du vitrage, on peut atteindre une réduction des pertes de l'ordre de 15 à 20%.

La base de données, obtenue de la Sonelgaz, concernant la cité du 20 août à Constantine sur laquelle on a travaillé, révèle qu'une moyenne de consommation d'énergie pour le chauffage est estimée à 10863.11 DA par an (Figure 75) pour un confort minimum (17000 thermie / an pour un F3 en Algérie ; Source : SONELGAZ), car la température ambiante d'une pièce de séjour doit se situer entre 18 et 24°C (Source : Sonelgaz).

Nous constatons une fluctuation des données "Chahutage" qui montre que l'utilisation du système de chauffage pendant la période froide est irrégulière et intermittente (Figure 76). Rappelons que ce chahutage de données s'explique par une irrégularité de la consommation de l'énergie pour le chauffage ; cela est dû soit par mesure d'économie ou par l'utilisation intermittente du système de chauffage (abonnés absents). Le tableau ci-dessous explique une part du chahutage dans la consommation d'énergie pour le chauffage. Les statistiques de 1998 (R.G.P.H) ont établi des chiffres très importants en matière d'inoccupation des logements de l'ordre de 18.77%.contre 81.23% des logements occupés.

	Occupé	%	Inoccupé	%	Total	%
Algérie	4081749	81,23	943228	18,77	5024977	100

Tableau 9: Répartition des logements selon le statut d'occupation

Rappelons que le logiciel SimulArch nous a conduit à des résultats très performants ; la valeur de 11500 DA annuelle pour le chauffage est obtenue dans les conditions les plus normales sachant que les caractéristiques thermo physiques théoriques des matériaux de l'enveloppe (conductibilité thermique, chaleur spécifique, résistance) ne reflètent pas exactement la qualité du matériau connu sur le marché. La résistance thermique d'un parpaing de 40x20x15 cm

standard est au dessus de celle fabriquée car elle n'est pas soumise à des contrôles de qualité. Nous pouvons constater que la quantité de chauffage calculée par SimulArch (11500.DA) Figure 73 semble valide comparativement à la valeur moyenne de la SONELGAZ (10863.11 DA).

Ainsi, la famille Algérienne, qui occupe de pareils logements souffre d'un manque de confort thermique dû non seulement à la très mauvaise réalisation de la part du maître de l'ouvrage, mais surtout à la négligence de l'étude du confort avec tous ses aspects.

Le gaz est l'énergie de chauffage la plus répandue dans le pays et constitue le mode de chauffage dominant dans les immeubles et maisons individuelles qui ne cessent de s'accroître (Le gaz est pratiquement l'unique énergie utilisée pour le chauffage par excellence). Globalement, les maisons individuelles consomment, relativement, plus d'énergie pour leur chauffage que les immeubles collectifs, ce qui tient aussi bien à leur taille qu'à leurs conditions d'isolation thermique. Donc, faire gagner de l'énergie domestique de 20% par ménage implique une économie d'énergie non négligeable pour l'Algérie. Surtout, si on adopte une réglementation thermique rigoureuse et applicable. Déjà en France, la première réglementation thermique des bâtiments neufs date de 1975 et a été adoptée à la suite du premier choc pétrolier de 1973. Elle visait à réduire de moitié la consommation moyenne de l'énergie consacrée au chauffage des logements neufs par rapport à ceux construits avant 1975. Cette réglementation est devenue plus exigeante en 1982, 1989 et 2001. Notons que la réglementation thermique en France 'RT2005' est applicable à compter du second semestre 2006 et vise à réduire de 15 % les consommations des bâtiments neufs [En ligne] (www.industrie.gouv.fr).

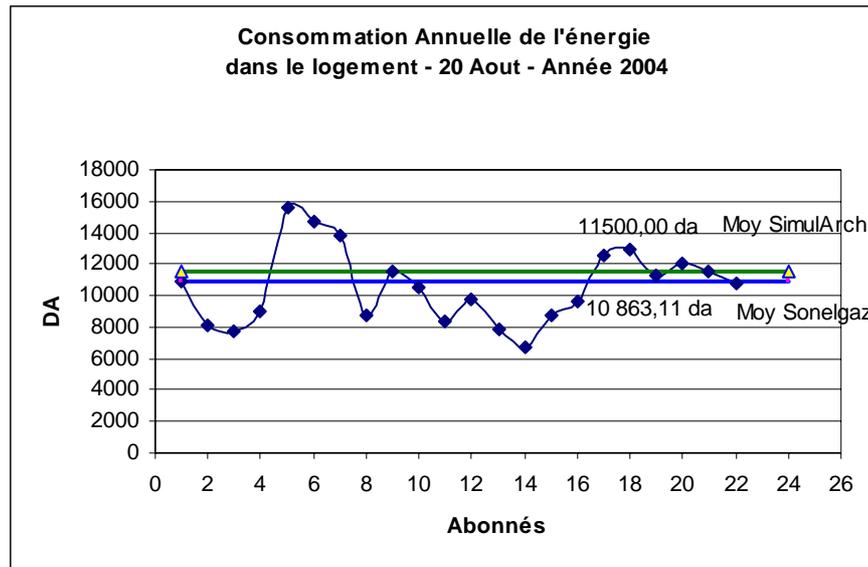


Figure 75 Energie annuelle pour un logement au 20 août et la variation de consommation en DA pour 22 abonnés.

8.6. Cas d'études sur l'indice de performance de trois logements à Constantine.

L'indice de performance (Indice de performance thermique, IP) est le code de la Construction et de l'Habitation, un moyen très efficace pour tester la consommation d'énergie pour le chauffage. Ainsi on pourra analyser les factures d'énergie et observer le logement (signes d'inconfort, courant d'air, trop chaud, trop froid, humidité/condensation, ...) et prendre conscience de l'impact du comportement sur la consommation d'énergie (température de logement, utilisation adaptée des appareils). Ce facteur est le rapport entre la consommation annuelle du chauffage (en m³ ou en Litre)³². Cet indice est ensuite comparé en fonction du type d'habitation. Nous allons prendre trois types d'appartements datant de différentes époques et se situant à Constantine (Figure 76). Ils nous montrent des indices de performance révélateurs tout en nous indiquant un comportement thermique. Il reflète une exigence dans le chauffage due à des paramètres techniques du bâtiment. La base de données de consommation en matière de gaz naturel (Source : Sonelgaz), pour le chauffage, nous a fait connaître un indice de per-

³² 1 m³ de Gaz naturel = 11.63 KWh

formance thermique très révélateur reflétant le comportement des habitants, influençant jusqu'à 30% le montant de la facture (Nicodème Lonfils, 2006).

Trois exemples d'appartements seront présentés ; l'un en 1950³³ (79 abonnés, la Brèche) l'autre en 1960³⁴ (32 abonnés, Belle vue), dont les éléments de construction sont la pierre bleue, la brique pleine et le bois. Un troisième en 1972³⁵ doté d'une structure particulièrement différente basée sur le béton armé. Un test a été fait sur ces trois échantillons (Source de données de Consommation d'énergie pour le chauffage : Sonelgaz)³⁶

			Habitat Energivore	
	Habitation Récente Correctement Isolée	Habitation Ancienne non Rénovée, Relativement Isolée, Chauffage Récent, et Vitrage	Habitation Ancienne Légèrement non Rénovée, (non Isolée, ou Placement, et Vitrage Simple	Habitation Ancienne non Rénovée
Ratio du Chauffage	5	10	15	20

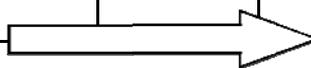


Tableau 10: Indice de performance thermique, IP

En analysant les trois cas (Tableau 11), nous constatons que la consommation annuelle du gaz naturel pour le chauffage, varie considérablement d'un cas à un autre. Un écart type entre les trimestres est loin d'être constant, cela est dû à plusieurs paramètres et particulièrement à l'intermittence dans l'utilisation du chauffage ou parfois même l'inoccupation du logement. Ces factures d'énergie nous donnent des indices de performance de chauffage (**IP**) suivants :

CAS Appartement 1 : Ne respectant aucune norme thermique de construction mais relativement isolée (Inertie moyennement bonne).

$$IP_{\text{cité du 20 aout}} = \text{Ratio}_1 = \frac{1106.45}{65} = 17.02$$

³³ Constantine, la Brèche, bâtiment 26, Appartement N°2.

³⁴ Constantine, Belle vue, Cité Benabass, Bloc A, 4^{ème} étage, N°1.

³⁵ Cité du 20 Aout, Bloc E2, 2^{ème} étage, N° 963.

³⁶ Commune 25501 TEE (Tournée) 23, 25701 TTE 47 TTE 25501 TTE 17.

1106.45 : consommation annuelle du chauffage (en m³)

De façon simplifiée, on peut retenir : 1 m³ de gaz = 10 KWh = 1 Litre de Fuel (Tableau 57: Facteur de Conversion du combustible).

65 : surface au sol chauffé (en m²)

CAS Appartement 2 : Energivore ne respectant aucune norme thermique de construction. Habitation Ancienne non Rénovée, Chauffage moyen, et Vitrage Simple.

$$IP_{la\ Brèche} = Ratio_2 = \frac{1120.95}{100} = 11.20$$

1120.95 : consommation annuelle du chauffage (en m³)

100 : surface au sol chauffé (en m²)

CAS Appartement 3 : Relativement énergivore. Habitation Ancienne non Rénovée, non Isolée, ou Placement, et Vitrage Simple.

$$IP_{Belle\ vue} = Ratio_3 = \frac{1118.37}{60} = 18.63$$

1118.37 : consommation annuelle du chauffage (en m³)

60 : surface au sol chauffé (en m²)

La différence de consommation de l'énergie pour le chauffage dans les trois cas est, forcément, fonction des caractéristiques du bâtiment. Le Cas 2 présente un ratio (11.20) admissible dû à l'importance de l'inertie de l'enveloppe. Le cas 1 et 3 présente un ratio supérieur de 17, ce qui signifie que la construction est sûrement énergivore grâce, surtout, à la légèreté des parois extérieures.

Ratio	Ratio ₁ et Ratio ₂	Ratio ₁ et Ratio ₃	Ratio ₂ et Ratio ₃
Valeur en %	50%	9%	66%

Tableau 11: Différence de consommation de ratios

Les constructions en béton armé consomment plus d'un tiers d'énergie des constructions anciennes, du fait que l'inertie thermique de ces dernières est plus importante. Notons que la conductibilité thermique du béton a un bon transfert de chaleur (Annexe Tableau 20).

Figure 76: Appartements Unifamiliaux à Constantine



4 Adultes + 4 Enfants
Construction en 1960
Surface est de 60 m²

3 Adultes + 5 Enfants
Construction en 1950
Surface est de 110 m²

2 Adultes + 3 Enfants
Construction en 1981
Surface est de 78 m²

Les trois indices de performance de chauffage calculés ci-dessus sont supérieurs à 10 (Tableau 10). Autrement dit, les bâtiments analysés ne sont pas dotés en aucun cas d'un traitement de l'isolant ou une rénovation quelconque. La surface du logement influe sur la consommation de l'énergie et le taux des déperditions à travers l'enveloppe extérieure et devient plus important ; par conséquent le volume du logement nécessite plus d'énergie pour atteindre un degré de température idéal. Le vitrage double devient indispensable pour limiter les pertes de chaleur et pourquoi pas l'ensoleillement excessif qui entraîne une augmentation de la température intérieure.

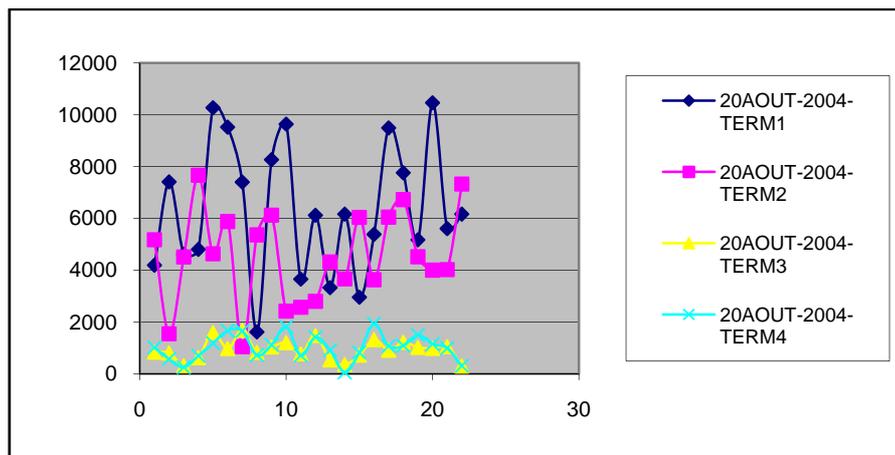


Figure 77: Chahutage de Variations de Consommation dans les ménages des 22 abonnés à la cité du 20 aout 55 (1980) en 2004

Commune : 25501 20 aout TEE : 23 Année 2004				
	Term1	Term2	Term3	Term4
	Consom Gaz KWH	Consom Gaz KWH	Consom Gaz DA	Consom Gaz DA
Min	1614,72	1045,16	295,8	53,36
Max	10460,88	7664,12	1825,84	259640,06
Moyenne	6000,141123	4398,060483	920,9887804	27995,80883
Ecartyp	3036,230269	2737,224685	640,5925543	81479,77365
		Total Gaz Annuel KWh		12868,04
		Total Gaz Annuel m ²		1106,45
		Facteur d'émission g de Co ₂ /KWh		259640,06

Tableau 12: Récapitulation de données des abonnés (Source : Sonelgaz) – Commune 25501

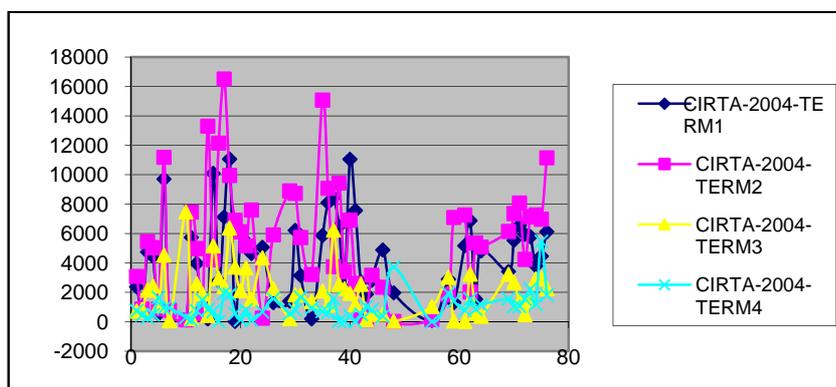


Figure 78 Chahutage de Variations de Consommation d'énergie dans les ménages des 79 abonnés à la Brèche (1950) en 2004,

Commune : 25701 CIRTA Tournée : 47 Année 2004				
	Term1	Term2	Term3	Term4
	KWH	KWH	KWH	KWH
Min	31,32	31,32	10,44	10,44
Max	11062,92	16509,12	7463,44	5457,8
Moyenne	4284,405283	5635,104906	2088,963019	1028,21962
Ecartyp	2941,274922	3968,017724	1695,235628	936,482805
Total Gaz Annuel KWh			13036,69283	
Total Gaz Annuel m ³			1120,953812	
Facteur d'émission g de CO ₂ /KWh			3059190,34	

**Tableau 13: Récapitulation de données des abonnés
(Source Sonelgaz) - Commune : 25701**

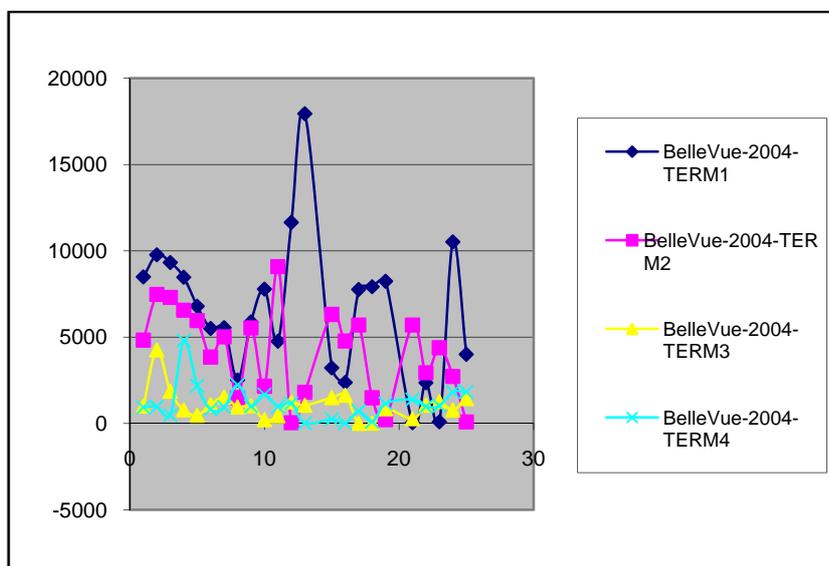


Figure 79: Chahutage de Variations de Consommation d'énergie dans les ménages des 32 abonnés à Belle Vue(1960) en 2004

Commune : 25501 Belle Vue Tournée : 17 Année 2004				
	Term1	Term2	Term3	Term4
	Consommation Gaz	Consommation Gaz	Consommation Gaz	Consommation Gaz
	KWH	KWH	KWH	KWH
Min	4 062,54	2 553,15	861,06	1 005,44
Max	6 571,15	4 157,19	1 081,83	262 437,38
Moyenne	5 316,85	3 355,17	971,44	55 752,88
Ecartype	1 773,85	1 134,23	156,1	115 655,01
		Total Gaz Annuel KWh		65 396,33
		Total Gaz Annuel m ³		5 623,07
		Facteur d'émission g de CO ₂ /KWh		1 319 510,21

Tableau 14: Récapitulation de données des abonnés (Source : Sonelgaz) Commune 25501

Nous pouvons tenir comme remarques de notre simulation, à travers le changement des différents paramètres, ce qui suit :

On entend encore parfois la réflexion "Cela ne sert à rien de couper le chauffage durant la nuit, la chaleur économisée est repayée en début de journée suivante pour recharger les murs". Au contraire ; La consommation d'un bâtiment est proportionnelle à la différence de température sur l'année entre l'intérieur et l'extérieur. Donc on ne peut faire que des économies en coupant l'installation de chauffage quand le bâtiment est inoccupé. On a toujours intérêt à couper le chauffage la nuit. Il est vrai que la décharge des murs devra être compensée par une surconsommation en début de journée pour les remettre à température, mais le gain énergétique provient de la diminution des déperditions nocturnes. Et donc, plus la température intérieure descendra, plus l'économie augmentera. Au pire, la coupure n'entraînera quasi pas de diminution de la température intérieure (cas d'un bâtiment fort inerte et très isolé) mais jamais on ne consommera plus.

Isoler convenablement un bâtiment signifie concevoir et exécuter tous les éléments de l'enveloppe extérieure (façades, toit, fenêtres, portes et plancher des locaux) de façon à ce qu'il présentent une résistance thermique assez élevée, entraînant de faibles dépenses en énergie de chauffage. L'investissement dans l'isolation est consenti une fois pour toute, généralement à la construction ou à la rénovation du bâtiment. Il sera amorti, année après année, sur les dépenses en

énergie de chauffage de 15 à 20% d'économie dans la consommation entraînant un gain dans la facture de 1800 DA à 2200 DA (source : SimulArch).

Contrôler les ponts thermiques, c'est-à-dire, les pertes par les liaisons qui sont estimées à 18% des déperditions par transmission.

Revoir le dimensionnement des ouvrants dans les différents types d'habitations. Environ 15% de gain d'énergie obtenu dans SimulArch pour le cas d'un F3 au 20 août.

Adopter le doublage du vitrage dans les ouvrants. 2.5% d'énergie gagnée sur le total des déperditions de l'appartement.

L'étude préalable est nécessaire sur les orientations du bâtiment avant l'implantation. Le cas expérimental sur l'appartement F3, nous montre l'importance des déperditions lorsque le bâtiment est mal orienté. SimulArch a enregistré une perte d'énergie de l'ordre de 40%.

La fiabilité du programme SimulArch en tant qu'outil personnel développé dans cette étude, est validée par les résultats obtenus en matière du coût global annuel de la consommation d'énergie pour le chauffage, qui est de l'ordre de 11500 DA, comparativement aux données obtenues par la SONELGAZ (10863 DA, année 2004). L'écart (637 DA) s'explique par le niveau de confort supposé dans SimulArch par rapport au confort thermique réel dans les appartements. Le paramètre du mode d'utilisation du système de chauffage, choisi dans SimulArch, est régulier et intermittent, or en réalité, nous pouvons dire que le comportement de l'abonné en matière de confort est généralement imprévisible. Cela s'explique aussi par le « chahutage » des données de la SONELGAZ. Enfin, la qualité des matériaux de construction sur le marché ne reflète en aucun cas la vraie valeur des caractéristiques thermo physiques standard.

L'obligation d'une réglementation thermique spécifique pour l'habitat, le savoir-faire et les connaissances suffisantes des techniques de construction par les maîtres d'ouvrage sont indispensables dans l'élaboration du projet d'architecture.

Les tableaux 11, 12 et 13, révèlent le facteur d'émission de CO₂ /KWh en gramme. Chacun des trois cas étudié (Figure 76: Appartements Unifamiliaux à Constantine), a émis une quantité de CO₂ dans l'air.

Rappelons que dans le cadre des accords du Protocole de Kyoto, l'Europe s'est engagée à ramener d'ici 2012 ses émissions de gaz à effet de serre à 8%, en dessous de ce qu'elle émettait en 1990. Dans cet effort européen, la France devait, pour sa part, se contenter de ramener ses émissions au niveau de celles de 1990. Le CITEPA³⁷, est l'organisme qui s'occupe de comptabiliser les gaz à Effet de Serre pour la France. Le CITEPA nous apprend via les documents disponibles sur son site web quelles ont été les émissions de CO₂ de la France en 1990 et en 2003 (<http://www.kyot-home.com/articles-41.html>).

1990	2003
397 Mt	408Mt
365 Mt	355 Mt

1 Mt = 1 Million de tonnes

Sur ces chiffres d'émissions, il est admis que 18,9% sont le fait du seul secteur résidentiel. Pour le cas de l'Algérie, la réglementation thermique est actuellement totalement négligée dans la mise en œuvre du système constructif. De ce fait on peut dire que les émissions du CO₂ sont aussi importantes. La répartition des émissions de CO₂ ; énergie en tonnes par an et par habitant en Algérie, est de 2.5 tonnes. (Source : Agence internationale de l'énergie, AIE). Comparativement au Moyen-Orient et en Afrique du nord l'émission est de 4,1 t, l'Afrique émet 1,39 t, l'Asie représente seulement 2,4 t et l'Europe donne un total de 8.5 t. Donc l'Algérie produit du gaz à effet de serre surtout lorsqu'il s'agit des émissions de gaz à effet de serre issu du secteur de l'habitat (Secteur cimentier : N.Bentaib and all, 2007)

8.7. Contrôle de l'ensoleillement ; gains de chaleur

A Constantine, le rayonnement solaire est relativement faible en hiver, mais en printemps, il devient non négligeable. A partir du printemps, les déperditions thermiques à travers les parois vitrées dans le logement sont presque couvertes, surtout si la façade principale est orientée vers le sud. En Europe et aux états

³⁷ Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique, France

unies, L'architecture a beaucoup changé du fait que le pourcentage des surfaces vitrées avoisine les 20% de la surface des parois extérieures, autrement dit, ça a entraîné une importante augmentation des déperditions en hiver et de l'ensoleillement excessif en été (Le Recknagel, 1985).

La quantité du rayonnement direct solaire estimé dans SimulArch sur un plan horizontal à 220 Wh/m^2 (contre 900 Wh/m^2 au Sahara en zone 4) (Eugene et Diuimitriu – Valcea, 1986), ce qui signifie en moyenne d'une durée d'ensoleillement au mois de janvier de 153 heures, à raison de 4.9 h/jour et une valeur moyenne annuelle de 213.6 heures d'où un total de 2778 heures/an (L'office national de la météo à Constantine).

L'apport de chaleur à travers les vitres ou parois opaques est important. L'exploitation de ce rayonnement solaire, en période froide, peut agir positivement sur le bilan thermique en matière de consommation d'énergie pour le chauffage.

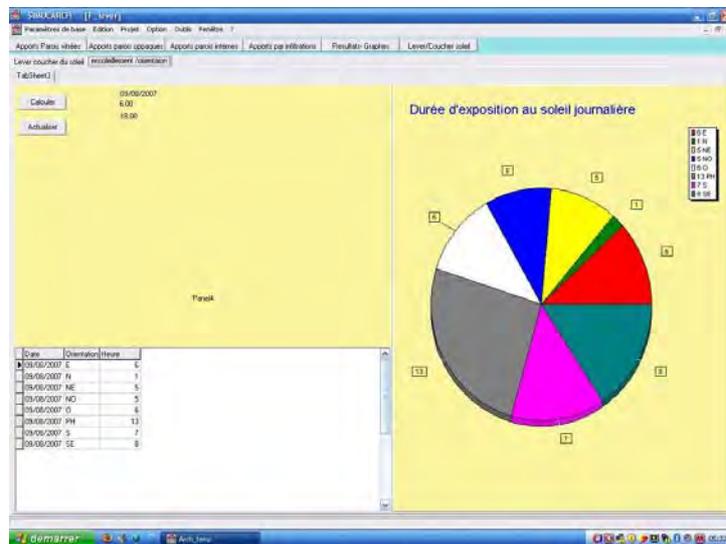


Figure 80: Ensoleillement à Constantine, Hiver (SimulArch)

Conclusions Générales :
Recommandations et Perspectives de Confort dans le logement Algérien et règles générales pour concevoir les bâtiments en corrélation avec le climat

Le but est de fournir des principes directeurs de conception architecturale et constructive en vue des exigences du confort, tenant compte de la corrélation entre les caractéristiques climatiques en réponse à la performance thermique des bâtiments. GIVONI B a donné des règles de base en ce qui concerne la conception des constructions dans des climats pareils au climat d'Algérie (Borel, J., 1962).

Les types climatiques d'Algérie pour lesquels il a recommandé une approche de conception thermique sont les suivants :

Zone I : climat méditerranéen maritime ; le principale problème de ce type de climat réside dans la détermination d'une bonne ventilation.

Zone II : climat méditerranéen continental ; (Zone entre les chaînes côtières et l'Atlas Tellien) ; parmi les orientations de Givoni, les bâtiments d'habitat ventilés présentent dans ces régions des inconvénients concernant le confort, dus à l'échauffement de la masse interne des bâtiments par l'air chaud à l'extérieur, et par conséquent des températures intérieures peu élevées la nuit.

Zone III : climat méditerranéen montagneux : (Hauts plateaux) ; Dans ce climat, il est nécessaire de faire appel soit à la ventilation, soit à une réduction des températures intérieures par un choix adéquat des matériaux pour obtenir un climat intérieur confortable, doublé par la ventilation en soirée.

Climat chaud et sec (désertique, le Sahara) ; Pour assurer le confort physiologique, les bâtiments doivent être adaptés aux conditions d'été, les exigences d'hiver étant satisfaites pour un bâtiment implicitement.

Jusqu'à présent, il n'y a pas une méthode unanime reconnue par ISO³⁸ ; chaque pays codifie ses paramètres climatiques de calcul selon les règles natio-

³⁸ International Organisation for standardisation

nales. Pour l'Algérie il est nécessaire d'établir une norme en ce qui concerne les paramètres climatiques de calcul, tenant compte des caractéristiques spécifiques du climat en corrélation avec le mode de construction. Le code de calcul SimuArch développé dans cette thèse en est une proposition.

Dans cette conclusion nous cherchons seulement à établir quelques principes de conception simples en faisant bénéficier les maîtres d'œuvre des expériences acquises notamment dans cette étude. Nous nous appuyerons aussi sur la base de données météorologique de l'ONM et les valeurs de consommation d'énergie pour le chauffage obtenues auprès de la Sonelgaz. Cette étude a un caractère énergétique, économique et sociologique portant ainsi un intérêt majeur sur des millions de logements sociaux en Algérie.

Ce travail veut aussi essayer de démystifier l'architecture climatique, en montrant qu'elle peut être parfaitement banalisée, qu'elle nécessite un minimum de savoir-faire, du bon sens, et qu'elle n'implique pas de calculs très compliqués. Pour cela, nous chercherons à donner quelques règles de dimensionnement simples, permettant de ne pas faire d'erreurs graves et de conduire à un fonctionnement satisfaisant, éliminant notamment les problèmes de surchauffe en été et surtout l'inconfort thermique en hiver. Mais l'architecture climatique n'est pas une fin en soi. Elle n'est qu'un outil parmi d'autres à disposition du concepteur, tout à fait nécessaire mais pas forcément suffisant.

L'objectif poursuivi est enfin d'essayer de dégager, à la lumière de l'expérience, une démarche de conception globale, conduisant non pas à rendre plus complexe les bâtiments, mais au contraire à favoriser des solutions de synthèse élégantes, fonctionnant mieux et en définitive moins chères.

1.0 .Les objectifs à atteindre

Pour réduire le coût énergétique dans le logement en secteur social, seules les charges offrent une marge de manœuvre. La facture énergétique représente une part prépondérante. Enfin, moins de charges d'énergie, c'est aussi moins de nuisances liées à la production ou à la combustion de cette énergie, ainsi que des économies contribuant à augmenter la durée de vie des gisements. (SIDLER O, 1996).

La facture énergétique regroupe l'ensemble des dépenses concernant l'énergie : le coût des KWh consommés tous usages confondus (chauffage et ECS "Eau chaude sanitaire", mais aussi éclairage, électroménager et cuisine).

Des observations s'imposent :

Selon la base de données obtenue de la Sonelgaz, la facture énergétique représente encore pour les occupants en moyenne un mois ou parfois deux mois de revenus par an.

Le choix de l'énergie (Gaz ou Electricité) est déterminant puisque sur un logement de 65 m², il peut introduire des écarts de 2.000 à 3.500 DA/an représentant un quart et un tiers de facture.

Le maître d'œuvre ne peut à lui seul contrôler tous les paramètres structurant la facture énergétique. Le comportement, les habitudes, les équipements de l'occupant restent déterminants. Ces différences apparaissent dans les enquêtes où des écarts de consommation.

Les stratégies à adopter pour réduire les charges d'énergie peuvent se résumer ainsi par surtout travailler l'enveloppe bâtie afin de réduire les déperditions et d'accroître les apports solaires. C'est l'approche de l'architecture climatique (écologique).

Pour réussir ce pari il faut que le projet architectural et technique soit global. Il n'y a pas d'un côté le bâtiment et de l'autre la partie énergétique. Tous les paramètres interagissent et seule une approche synthétique conduira à un résultat satisfaisant notamment en termes de qualité, cohérent et à moindre coût. On doit donc traiter simultanément tous les problèmes (acoustiques, thermiques, lumières, surfaces, etc.) sans chercher à optimiser individuellement chacun des paramètres, mais en visant plutôt un optimum global. Climatique ou non, l'architecture a toujours eu pour vocation de produire un dessin élégant intégrant de manière optimale, l'ensemble des contraintes existantes. La dimension énergétique est un élément parmi d'autres. L'architecture « climatique » rappelle seulement cette dimension aujourd'hui négligée. On cherchera donc des réponses de synthèse basées sur la synergie des différentes solutions mises en œuvre. A toutes les étapes du projet, on contrôlera les surfaces, les coûts, etc.

Cela suppose impérativement que les ingénieurs concernés (thermique, structure, etc.) soient associés au projet dès son origine, c'est-à-dire dès les premiers croquis. La prise en compte très en amont de tous les paramètres permet de réduire largement les coûts grâce à des solutions globales. On cherchera donc des réponses de synthèse basées sur la synergie des différentes solutions mises en œuvre (SIDLER O. ,1990.).

2.0. Adopter une architecture écologique (climatique).

L'architecture climatique n'est pas une invention nouvelle. Elle n'est qu'une redécouverte de principes très anciens, empreints d'un grand bon sens mais les facilités économiques et énergétiques avaient fini par faire oublier à tous les bâtisseurs. N'ayant pas les moyens de s'opposer à lui, l'homme a toujours, par le passé, composé avec le climat. Il a observé les influences qui lui étaient favorables et a produit un type de construction à bien des égards exemplaires. En cette fin de XXème siècle, les bâtisseurs ne doivent pas « faire ancien ». Ils doivent certes comprendre ce qui faisait la force des constructions anciennes. Mais ils ont aussi à leur disposition des matériaux et des moyens nouveaux qui décuplent leurs possibilités.

Alors, pourquoi des maisons bioclimatiques (écologique) ? « L'énergie la plus respectueuse de l'environnement est celle que l'on ne consomme pas » Si l'on désire faire construire aujourd'hui un habitat neuf, l'on se doit de faire attention à la façon de le réaliser pour plusieurs raisons :

Parce qu'il n'est plus possible de consommer une énergie fossile en voie de disparition qui deviendra de plus en plus onéreuse.

Parce que ces énergies polluent et ont une action directe sur notre environnement et le dérèglement climatique.

Parce que l'on n'a pas le droit d'être les acteurs de la ruine d'un monde légué à nos enfants et petits enfants.

Parce qu'il existe des alternatives pour construire.

C'est alors, la construction avec le climat et le soleil est le bien être de l'habitant, il y a au centre de la démarche de l'architecture bioclimatique qui re-

cherche avant tout, les paramètres naturels qui conditionnent les notions de confort de l'occupant. Le climat est donc l'élément déterminant dans la conception d'une architecture bioclimatique (évolution de l'ensoleillement et des températures, régime des vents et des précipitations). Nos climats n'offrant pas des conditions climatiques suffisantes tout le long de l'année, il est nécessaire de les corriger par le chauffage ou le refroidissement des bâtiments pour obtenir un habitat confortable. L'objectif à atteindre est donc de trouver les meilleures solutions de confort pour les occupants, en limitant les consommations énergétiques de la maison. L'important étant de trouver la meilleure solution entre le climat, le bâtiment et le comportement de l'occupant. Sous nos climats tempérés, les variations de l'ensoleillement, du vent et des températures, demandent de mettre en œuvre diverses stratégies adaptées aux différentes saisons.

Par exemple, l'enveloppe doit pouvoir créer une température interne supérieure à la température extérieure pendant l'hiver, et une température inférieure à la température extérieure pendant l'été. Elle doit, pour cela, disposer de structures capables d'opérer une sélectivité thermique, permettant de rechercher certaines influences favorables et d'en écarter d'autres qui le sont moins. (GANDEMER, GUYOT, 1976).

Les recommandations qui vont suivre sont des tendances à respecter. Chaque cas concret pose des problèmes spécifiques rendant parfois très difficiles, voire impossible, la mise en œuvre de toutes ces dispositions. Tout l'art d'une équipe pluridisciplinaire est alors dans le bon compromis.

3.0. Recommandations techniques pour un bâtiment à faible consommation d'énergies.

Un bâtiment méditerranéen doit bien sûr prendre en considération les conditions spécifiques du climat. Pour être confortable, il devra être facile à chauffer, mais aussi rester frais en été, avec une consommation d'énergie aussi réduite que possible, voire nulle. La conception devra en outre, procurer un confort visuel, thermique, et une bonne qualité de l'air, tout en tenant compte de l'occupation du bâtiment et du comportement des usagers. Cette conception devra, avant tout, s'attacher à la qualité de l'enveloppe afin de parvenir aux performances que l'on

peut attendre d'un tel bâtiment. Les équipements techniques nécessaires au maintien du confort intérieur devront assurer leurs fonctions dans des conditions d'efficacité énergétique optimales. Nous développerons les paramètres les plus influents dans la conception d'une architecture à faible énergie suivants :

3.0.1 L'enveloppe et les techniques passives

L'enveloppe du bâtiment est le premier des éléments sur lequel le concepteur doit intervenir, pour créer, à l'intérieur de son ouvrage des conditions de confort satisfaisantes. Les architectures climatiques jouent sur différents paramètres :

- ✓ Capter le soleil en hiver,
- ✓ Réduire les apports de chaleur en été,
- ✓ Se protéger du vent froid mais favoriser la ventilation tout en limitant les risques d'effraction,
- ✓ Bien voir à l'intérieur et vers l'extérieur en tenant compte de la luminosité spécifique de la région méditerranéenne.

Faire la synthèse, entre toutes les données et toutes les exigences, est un des rôles premiers des concepteurs et en particulier de l'architecte. Les réglementations thermiques en Europe ont été à l'origine d'une amélioration de la qualité des bâtiments par rapport à la thermique d'hiver, en revanche, le confort d'été n'est que rarement pris en considération. L'architecture méditerranéenne a su répondre par le passé avec ses moyens à cette double contrainte climatique. Des solutions contemporaines existent (Jean-Louis Izard ,1993).

Il est très important d'étudier La position de l'isolant à l'intérieur ou à l'extérieur de l'enveloppe et nécessite des arbitrages technico-économiques. Placé à l'extérieur, l'isolant renforce l'inertie thermique du logement, synonyme de confort. Cette solution a l'avantage de supprimer les ponts thermiques, de protéger la maçonnerie des intempéries et des chocs thermiques, donc de réduire les coûts de maintenance. Le surcoût apparent qu'elle présente est en réalité assez minime dans un bilan économique global (R. Angioletti, 1996).

Dans un bâtiment, les ponts thermiques représentent couramment 20 % des déperditions totales hors ventilation. Il convient donc de les traiter avec le plus de soin possible, cas par cas. Les liaisons les plus fréquentes sont les abouts de

dalle et de refends. La solution idéale est évidemment l'isolation par l'extérieur lorsqu'elle est économiquement viable. On veillera alors à sa mise en œuvre, notamment en isolant les retours de tableaux des fenêtres. L'isolation thermique permet en même temps d'accroître le confort et de réduire les consommations d'énergie de chauffage. Mais ce n'est pas tout, l'isolation est également bénéfique pour l'environnement car elle favorise la diminution des émissions de polluants. Ainsi, l'isolation thermique est intéressante en termes pratiques, économiques et écologiques. Parmi les bienfaits de l'isolation thermique aussi c'est de supprimer "l'effet paroi froide" pour augmenter le confort et les économies.

Si tout le monde en Algérie isolait correctement sa demeure, nous parviendrions à réduire, non seulement, les émissions de CO₂, mais aussi la facture du chauffage qui représente 50%, la moitié de l'énergie en Algérie, dont 2/3 pour les ménages et 1/3 pour le tertiaire.

D'une manière générale, on sait où part notre énergie, et donc notre argent (OLIVIER Sidler, 2000). Un schéma peu résumer les différentes déperditions à travers la structure de la maison (Figure 81).

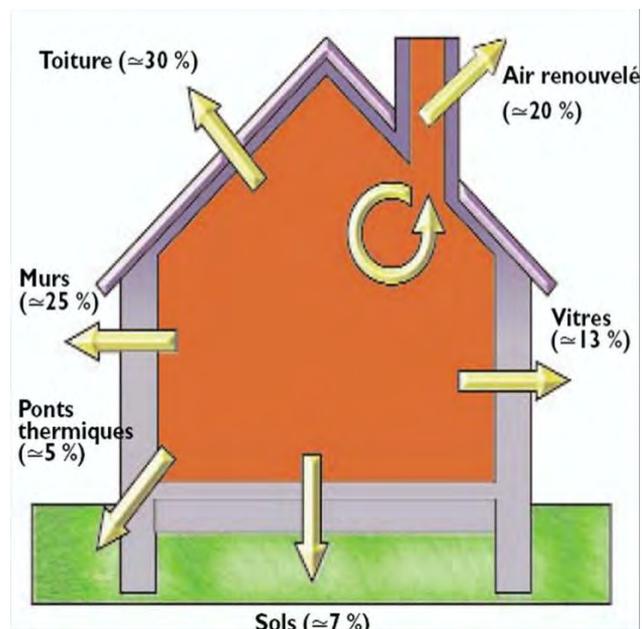


Figure 81: pourcentages indicatifs pour une maison individuelle non isolée)

3.0.2. Rechercher les apports gratuits

Lorsque les contours et les matériaux de l'enveloppe sont prédéfinis, le niveau de déperditions de celle-ci est fixé. On réduira les consommations d'énergie de chauffage, si on réussit à réduire les besoins en cherchant maintenant à utiliser le rayonnement solaire. L'enveloppe bâtie n'est plus alors simplement considérée comme la frontière du domaine habitable. Elle devient un élément souple, chargé de transformer un climat extérieur fluctuant et inconfortable en un climat intérieur agréable. De cette enveloppe on attend tout à la fois :

- ✓ Qu'elle réduise les besoins énergétiques,
- ✓ Qu'elle offre un confort naturel en toute saison, c'est-à-dire qu'elle assure tout à la fois :
- ✓ Un niveau de température interne acceptable,
- ✓ De faibles variations quotidiennes de température (contrôle des surchauffes),
- ✓ Une bonne distribution de la chaleur dans les pièces habitées.

On joue pour cela sur tous les moyens dont on dispose ; l'implantation et l'orientation du bâtiment, son architecture, la distribution intérieure, le choix des matériaux, leur disposition respective, leur couleur, etc. Par sa conception, le bâtiment doit être capable de satisfaire quatre fonctions principales :

- ✓ Capter le rayonnement solaire
- ✓ Stocker l'énergie captée
- ✓ Distribuer cette chaleur
- ✓ Réguler

à quoi s'ajoute en été une fonction que l'on peut identifier à la régulation ; maintenir une température agréable à l'intérieur. Concrètement, cela se traduit assez simplement ainsi :

On capte par les façades Sud-est à Sud-ouest grâce à des baies correctement dimensionnées ou grâce à des vérandas,

On stocke grâce à de l'inertie thermique, c'est à dire grâce à la masse des matériaux de construction correctement disposés (rapport masse/surface exposée à respecter),

On régule grâce à cette masse thermique, et éventuellement grâce à des protections solaires, si possible passives (c'est à dire dues à l'environnement proche : arbres, masques du bâtiment sur lui-même),

On distribue la chaleur grâce aux surfaces internes rayonnantes.

Une bonne conception prendra aussi en compte le confort d'été. Mais celui-ci est beaucoup moins problématique qu'on l'imagine généralement, si aucune erreur n'a été commise, et notamment si les toitures des vérandas ne sont pas vitrées. Là aussi quelques masques naturels (arbres, petite casquette) peuvent parfaitement suffire, le verre ayant, quant à lui une propriété bienvenue en été : il réfléchit presque complètement les rayons, car leur angle d'incidence est très élevé. Enfin, le recours à la ventilation nocturne des vérandas et des structures est, dans les climats possédant de grosses variations de température jour/nuit, l'assurance d'un grand confort pendant la journée à condition de vivre fenêtres fermées puisqu'il fait plus chaud dehors que dedans.

4.0. Réduire les besoins en énergie de chauffage et de climatisation : Confort d'été et Confort d'hiver

En région méditerranéenne, pour être confortable tout au long de l'année, un bâtiment devra répondre à trois règles principales.

- ✓ Une inertie thermique importante.
- ✓ Des protections solaires efficaces.
- ✓ Une bonne ventilation naturelle.

Au-delà quelques autres éléments permettront encore d'améliorer le confort des habitants :

- ✓ Une organisation et orientation des espaces intérieurs.
- ✓ L'aménagement des espaces extérieurs.
- ✓ Le choix des systèmes de chauffage et de rafraîchissement performant.
- ✓ La prise en compte de l'éclairage dans la conception.

Par la diminution des pertes de chaleur en prévoyant.

- ✓ Une bonne organisation des espaces.
- ✓ Une forme compacte des bâtiments.
- ✓ Une bonne isolation des murs et des toitures.

4.0.1 Par la protection solaire/isolation

En été, un bâtiment mal protégé du soleil est le siège de surchauffes, donc de conditions thermiques inconfortables. La conception d'une protection solaire estivale efficace est fondamentale pour qu'un bâtiment soit thermiquement et énergétiquement performant. Cette protection solaire doit concerner toutes les parois extérieures du bâtiment, qu'elles soient transparentes ou opaques, si elles ne sont pas isolées thermiquement. Elle doit répondre à une multiplicité d'objectifs :

- ✓ limiter les surchauffes
- ✓ limiter l'éblouissement
- ✓ doser l'éclairage naturel dans les pièces

Elle peut également contribuer à l'occultation d'un local, l'intimité des occupants et l'esthétique de la façade. Parmi les solutions qui protègent l'enveloppe dans la perspective de limiter la surconsommation énergétique en été sont la protection fixe ou mobile des ouvertures. Les Pare-soleil extérieurs fixes peuvent être conçus d'une certaine manière (Inclinaison des parois et le sens de chaleur), (Annexe Tableau).

Ces Occultations sont efficaces selon la typologie, l'orientation et la période de l'année. "La casquette" est constituée d'une avancée au-dessus de la surface réceptrice ; auvent, débord de toiture, balcon. L'occultation au rayonnement direct est bonne l'été, de l'orientation Sud-est à l'orientation Sud-ouest. Elle est très faible à l'Est et à l'Ouest. L'hiver, la casquette laisse passer le soleil quelle que soit l'orientation de la façade. "Le flanc" doit être constitué par des plans verticaux placés à côté de la surface réceptrice. L'occultation est quasiment constante (mais faible) toute l'année en orientation Sud. Elle est assez forte à l'Est et à l'Ouest en hiver, ce qui n'est généralement pas souhaité, et quasi nulle en été. La "loggia" combine les pare-soleil horizontaux et verticaux. La protection solaire est bonne l'été, du Sud-est au Sud-ouest. Elle est moyenne toute l'année à l'Est et à l'Ouest. L'auvent et surtout la loggia constituent une excellente protection des vitrages Sud-est à Sud-ouest, qui maintient un ensoleillement satisfaisant l'hiver. Ils doivent être complétés par des protections mobiles

en septembre, car les apports solaires n'y sont généralement pas souhaités alors qu'ils le sont en mars.

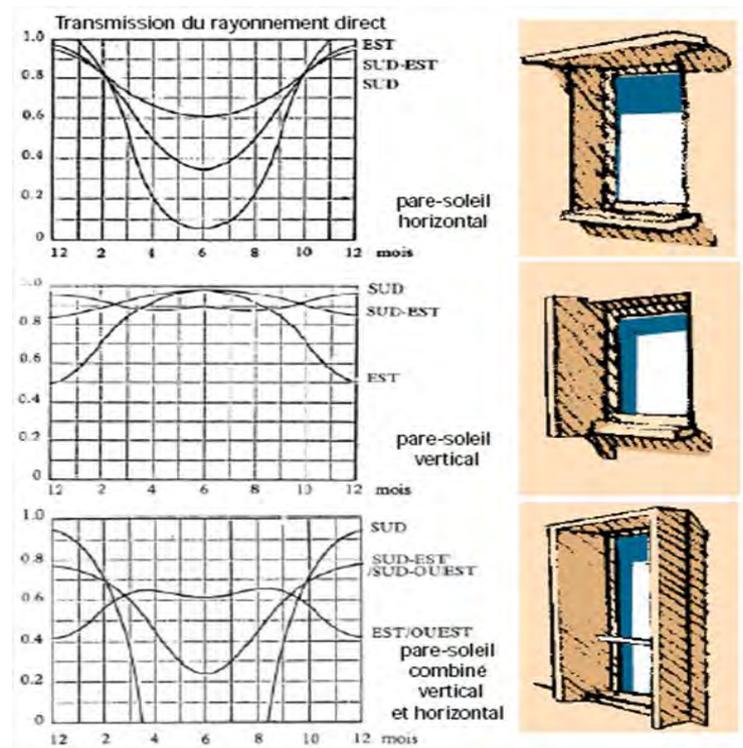


Figure 82: Enjeux de la Protection Fixes

4.0.2. Par protection solaire des parois opaques

En été, les parois du bâtiment sont fortement sollicitées par le rayonnement solaire. Les apports solaires transmis à l'intérieur dépendent principalement des ouvertures, mais aussi des toitures et des murs. La (Figure 83) montre la nécessité de choisir les actions à mener pour améliorer le confort thermique selon 2 principes : Cela va de soi ; pendant l'hiver, les déperditions sont importantes à travers la toiture (SimulArch)

Tenir compte des caractéristiques de chaque élément du bâti :

- ✓ Ouvertures (vitrages), toiture et murs
- ✓ Agir en priorité sur les éléments les plus exposés au soleil. La toiture constitue la principale surface de l'enveloppe exposée au soleil, et son exposition dure toute la journée, contrairement à celles des surfaces verticales.

La durée d'exposition de la toiture et son importance relative l'amène à être à l'origine d'une part importante des apports thermiques extérieurs (les apports à

travers la toiture peuvent représenter un tiers à la moitié des apports totaux dans le cas d'un bâtiment d'un seul niveau). Les locaux situés sous toiture sont donc toujours plus inconfortables que les locaux des autres niveaux, en raison des apports supplémentaires parvenant par cette voie. Il est donc prioritaire de réduire ces apports solaires, qui, bien que moins apparents que ceux parvenant à travers les vitrages verticaux, sont quantitativement importants (SimulArch).

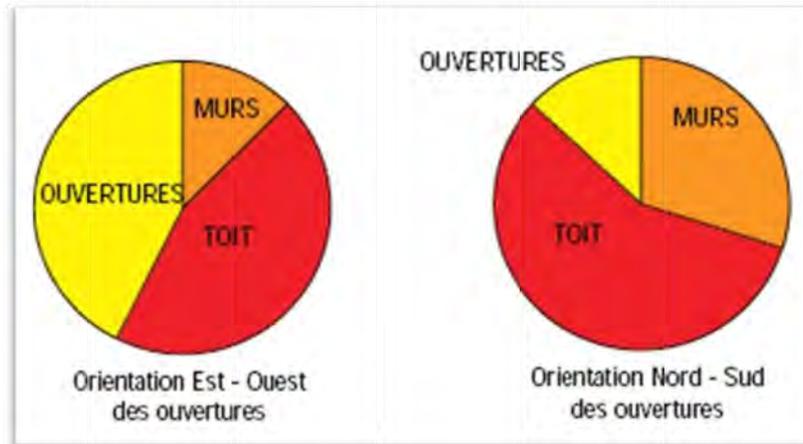


Figure 83: Importance de déperditions

Plusieurs types de traitement permettent une protection solaire efficace :

- ✓ Les masques architecturaux - Les masques végétaux ; “Traitement des espaces extérieurs”.
- ✓ Les claustras doivent être fortement ventilés et de couleur claire pour être efficaces.

Adoptant une isolation thermique des murs par l'extérieure pour son faible cout, améliorant l'inertie thermique de la paroi isolée et ne demandant pas un traitement particulier des ponts thermiques, évitant les chocs thermiques sur maçonnerie (Evite les ponts thermiques Eté comme Hiver), permet de conserver l'inertie des murs intérieurs par stockage de fraîcheur en été et de chaleur en Hiver. Et surtout évitant les chocs thermiques sur la maçonnerie. (Permet de conserver l'inertie des murs intérieurs par stockage de fraîcheur en été et de chaleur en Hiver).

4.0.3. Par l'inertie thermique.

Dans les bâtiments à occupation intermittente, l'inertie thermique est source de confort été comme hiver, mais elle est *a priori* source de surconsommation d'énergie en hiver puisqu'elle maintient la température intérieure à un niveau trop élevé en période d'inoccupation. On peut retenir de ce qui précède que :

L'inertie thermique est toujours nécessaire pour améliorer le confort, en hiver comme en été, quel que soit le type et le mode d'utilisation des bâtiments, mais elle ne suffit pas à cette fin.

Au regard du confort estival, la situation des bâtiments actuels en zone méditerranéenne est aujourd'hui assez critique. La croissance importante des apports internes les amène à des situations de rupture dans lesquelles on ne peut plus assurer le confort que par le biais de la climatisation. Dans ce contexte, l'inertie thermique a un rôle important à jouer. Elle doit impérativement être réhabilitée. Mais elle ne suffira pas à elle seule pour résoudre le problème. Il faut partir en guerre contre les bâtiments sur-vitrés ou mal protégés du soleil, qui sont pourtant à la mode. Aussi faut-il réduire massivement les consommations internes d'électricité, source principale des surchauffes.

4.0.4 Par la ventilation et la protection du vent.

Cela s'applique forcément par la mise en œuvre de stratégies suivantes :

- ✓ La stratégie en hiver ;
- ✓ La stratégie d'été ;
- ✓ Les facteurs d'une bonne ventilation naturelle ;
- ✓ Les facteurs extérieurs de la ventilation.

En effet, les vents dominants d'hiver sont une source importante de déperdition (par effet de convection et par infiltration) ; leur impact peut être estimé à 20%³⁹ (J. Gandemer, A.Guyot 1981) pour un bâtiment datant des années 1970, compte tenu du faible niveau d'étanchéité à l'air des menuiseries. La protection

³⁹ Ce chiffre de 20% correspond au ratio qui était utilisé, au niveau national, en France pour estimer les pertes dues au vent lors des calculs de déperdition avant application de la législation thermique de 1975.

pourra être assurée par le relief (naturel ou artificiel) du terrain, des brise-vents végétaux, ou par des annexes.

Or parmi les enjeux en période chaude, on peut obtenir le confort thermique à l'intérieur des bâtiments :

- ✓ Soit par des procédés naturels lorsque le bâtiment et son usage s'y prêtent ;
- ✓ Soit par des procédés artificiels plus ou moins sophistiqués ;

Une bonne conception suffit en général pour apporter un confort satisfaisant en été dans les bâtiments. La ventilation est alors un moyen efficace et très économique pour améliorer les conditions de confort pendant les périodes les plus chaudes. Dans les immeubles, utilisés seulement le jour et difficiles à ventiler la nuit, les appareils de bureautique apportent des dégagements de chaleur permanents ; il sera parfois nécessaire de recourir à des systèmes de rafraîchissement ou de climatisation. (A.Guyot, Encyclopédie du Bâtiment, édition Eyrolles)

4.0.5. Par l'orientation des locaux.

La conception d'un bâtiment, son implantation, son orientation influent notablement sur son comportement thermique, en été ou en hiver,

- ✓ Par l'exposition au soleil,
- ✓ Par la protection ou l'exposition au vent.

Orienter vers le sud les pièces de jour (séjour, salon, cuisine, bureau), et y mettre le plus possible de larges baies vitrées (10 à 20 m²), en prévoyant des dispositifs d'ombrage pour l'été. Vitrer sans excès les pièces situées à l'est et à l'ouest, et ne pas mettre de fenêtres au nord. Disposer des espaces tampon au nord : garage, cellier, buanderie. Pour une maison bien conçue, les apports solaires peuvent compenser 40% des déperditions, et le surcoût d'investissement peut être nul.

4.0.6. Par le choix de l'exposition solaire.

D'une façon générale, une exposition principale Sud, Est et Sud - Est permettra : (Figure 84) (Recknagel S, 1980). (Voir aussi les résultats dans SimulArch - Partie Ensoleillement).

- ✓ Un meilleur ensoleillement en hiver.
- ✓ Une réduction des apports solaires en été.

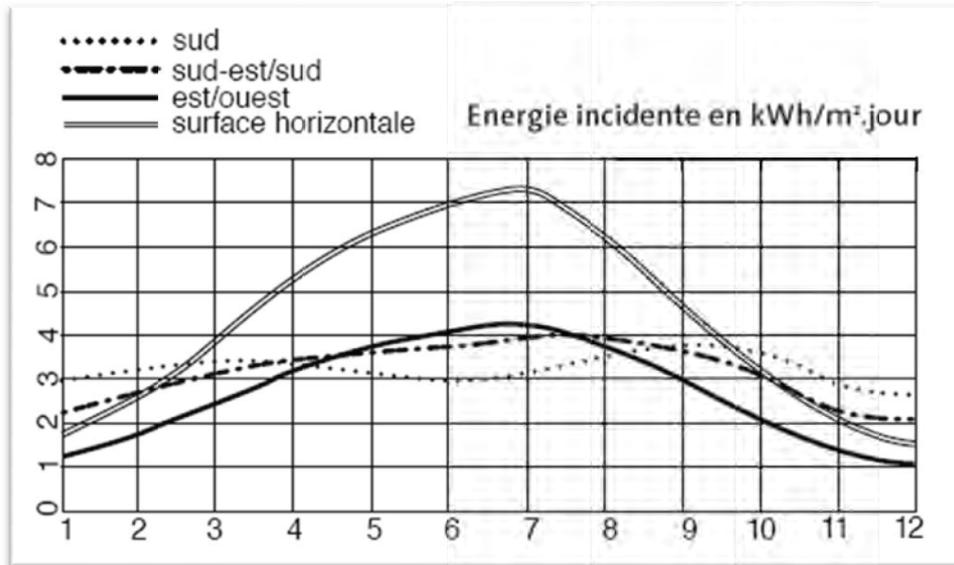


Figure 84 : Combinaison de plusieurs orientations

Le graphique ci-dessus montre, qu'en été, l'énergie incidente sur les façades Est et Ouest est plus importante que celle reçue sur les façades Sud. En revanche, durant la saison de chauffage, la façade Sud est plus ensoleillée. On pourra profiter des apports solaires, soit directement par de larges vitrages, soit par des serres, soit par les murs-capteurs⁴⁰. C'est donc sur cette façade que devront être situés, de préférence, les espaces de vie et les surfaces vitrées les plus importantes. En climat chaud, les chambres seront de préférence orientées au sud ou à l'est, afin d'éviter des surchauffes en fin d'après-midi qui pourrait perturber le sommeil des usagers. Les espaces tampons (placards, rangements, etc.) pourront être placés sur la façade nord.

5.0. Des solutions en perspective pour le bâtiment

Ce qui précède montre assez bien où peuvent conduire des approches de conception trop partielles et des domaines de compétences trop cloisonnés. Au-

⁴⁰ Murs trombes (Félix Trombe) avec vitrages ou matériaux d'isolation transparents sur la face externe.

aujourd'hui, la construction de logements à faibles besoins en énergie n'est plus une simple affaire d'architecte et d'entreprise générale (sous entendu de gros œuvre). Elle suppose au contraire une participation de l'ensemble des composantes de la maîtrise d'œuvre, et notamment d'un ingénieur énergétique et d'un économiste énergétique, et pas seulement thermicien ; car le problème des logements performants n'est plus uniquement une question de thermique ; l'électricité, tous usages confondus, est une composante essentielle de la facture des ménages.

L'approche proposée dans ce qui a précédé a donné des résultats. La facture énergétique globale (tous usages confondus) est située entre 200 et 300 DA TTC/m² au maximum, et moins si les dispositions proposées sur l'électricité sont mises en œuvre. Mais on pourra aller encore plus loin si une réflexion plus profonde s'engage avec les maîtres d'ouvrage sociaux, et si ceux-ci acceptent d'assumer leur mission sociale au-delà de ce qu'elle est habituellement aujourd'hui.

Les solutions ne manquent pas pour faire baisser la facture énergétique des logements sociaux. Il faudrait seulement modifier les façons de travailler et de concevoir ensemble, et se défaire d'une certaine inhibition face à l'innovation.

La Maîtrise de l'Energie apparaît en fait comme un formidable outil à disposition des Pouvoirs Publics pour réduire le poids du logement dans le budget des ménages, puisqu'elle agit comme un amplificateur des efforts consentis en investissement.

Rappelons qu'en Algérie le chauffage des locaux représente 45% de la dépense énergétique du secteur bâtiment, et même 56% en y incluant l'eau chaude sanitaire (qui atteint déjà le quart de la consommation des transports et est en rapide croissance). Aucun progrès n'est réalisé dans les performances énergétiques des bâtiments neufs dans le cadre d'une réglementation thermique. On doit cependant constater que beaucoup de mesures d'économies applicables à l'habitat ancien sont encore possibles, nullement appliquées en Algérie que chez nos voisins maghrébins. Des actions de substitution des sources d'énergie fossiles géné-

ratrices de CO₂ par des sources non génératrices de GES⁴¹ ne sont pas également développées en Algérie que chez nos voisins maghrébin ou d'Europe ; chauffage au bois, utilisation du solaire thermique et de la géothermie. Les conséquences sur le confort et la santé publique de quelques canicules peuvent induire un développement de la climatisation, faisant appel à des technologies non optimisées et coûteuses en énergie. Il serait souhaitable que cette tendance, probablement irrésistible, soit encadrée par une réglementation. Enfin, si l'on considère que les pays en voie de développement, la maîtrise des technologies de l'énergie dans l'habitat serait un enjeu important avec la croissance des grandes villes, qui demanderont la climatisation dans la zone chaude et le chauffage dans les zones froides. Pour le bâtiment, on peut avoir des solutions en perspective ; réduire considérablement le coût de la facture surtout dans les ménages et obtenir un confort beaucoup plus meilleur. Et on peut parvenir également à zéro effet de serre sans réduire le confort. Dans un bâtiment, l'énergie a trois grands usages :

Se chauffer (ou se refroidir), et on peut aller vers zéro consommation en commençant par une bonne isolation, et l'utilisation de matériaux à changement de phase, qui donnent de l'inertie au bâtiment et résolvent le confort d'été.

On doit pouvoir parvenir à ne consommer que très peu, et alors la question se pose de produire soi-même ce très peu. Ce sont alors les énergies renouvelables qui sont sollicitées, le soleil, le vent, la géothermie, la biomasse. Si on peut produire à l'année plus d'énergie qu'on en consomme, on obtient la maison à énergie positive. Il y a malgré tout la question du décalage dans le temps, puisque les moments de production ne sont pas les moments de consommation (jour/nuit, été/hiver, impossibilité de maîtriser les événements climatiques). Il y a aussi, parmi les solutions techniques, les pompes à chaleur, et les procédés qui utilisent la température du sol, à peu près constante. Les puits canadiens (ou provençaux) sont depuis longtemps une application de ces principes. En résumé, les techniques à mobiliser sont :

- ✓ Une isolation renforcée,

⁴¹ Gaz à Effet de Serre

- ✓ Des baies vitrées où il rentre plus d'énergie qu'il n'en sort,
- ✓ Un double flux généralisé (échangeurs de chaleur sur les extracteurs d'air)
- ✓ Recours au solaire thermique, notamment pour l'eau chaude sanitaire (1 m² de capteur couvre la moitié des besoins d'une personne)

Pour le confort d'été, rafraîchissement naturel, en s'aidant notamment de matériaux à changement de phase (qui renforcent l'inertie du bâtiment) et de vitrages avec facteur solaire contrôlé

Tout ceci, peut s'appliquer où la demande d'énergie est constamment forte. La photovoltaïque et la géothermie sont couramment exploitées en Allemagne et maintenant en France.

Un programme doit se placer dans la perspective de l'objectif de réduction d'un facteur des émissions de gaz à effet de serre dans les bâtiments.

6.0. La modernisation durable des bâtiments

L'objectif de recherche et de développement poursuivi est d'obtenir, dans un moyen terme, dans des conditions techniques, économiques et sociales acceptables, des solutions techniques permettant :

La rénovation banalisée de bâtiments avec une performance énergétique aussi proche que possible de celle des bâtiments neufs 'sous réglementation',

La réhabilitation de bâtiments pouvant atteindre, par leur adaptation à l'architecture et au bâti existant, des performances équivalentes à celles obtenues par les meilleures pratiques actuelles de constructions neuves.

L'objectif final d'une division par quatre des émissions de gaz à effet de serre en 2050, doit être atteint par la réalisation de ces objectifs de recherche dans la mise à niveau du parc immobilier restant.

L'objectif de recherche et de développement, qui seront poursuivis, est de permettre à un moyen terme.

La construction banalisée de bâtiments de tous types, consommant pour le chauffage, le confort d'été, la production d'eau chaude, le renouvellement d'air et l'éclairage, moins de 60% de la consommation moyenne constatée actuellement pour les bâtiments performants,

La construction d'une part significative de bâtiments consommant trois à quatre fois moins que ceux actuellement les plus performants dès 2020, pour un objectif de réduction de l'ordre d'un facteur 6 à 7 en 2050. (ADEME, Ministère de l'Aménagement, France, 2002).

7.0. La préfiguration des bâtiments de demain dit à énergie positive

L'objectif de recherche et de développement poursuivi est de pouvoir construire et rénover dès que possible une part importante des bâtiments pouvant fournir plus d'énergie qu'ils n'en consomment. Une part significative des bâtiments réhabilités devra pouvoir bénéficier des méthodes et des techniques mises au point.

Pour l'ensemble de ces recherches, une attention particulière sera portée aux conditions de confort et de santé, ainsi qu'à l'intégration des énergies renouvelables.

Le réchauffement climatique et les risques de pénurie d'énergies fossiles sont deux enjeux majeurs auxquels nous devons faire face au cours du XXIème siècle. Un secteur présente des marges d'amélioration de ses performances énergétiques ; celui de l'habitat. L'idée-force de la mutation est de faire du bâtiment un lieu de production d'énergie décentralisée utilisant les énergies renouvelables ; vent, soleil, géothermie superficielle, biomasse. Le bâtiment assure ses propres besoins et l'énergie non consommée est restituée sur le réseau qui devient une immense coopérative de production. C'est le concept de bâtiment à énergie positive. C'est une révolution, mais elle est déjà en marche dans les pays comme l'Allemagne ou la Suisse.

En Algérie, la question des émissions des effets de gaz sont pris en charge depuis 1994, considérée comme année de référence par le Secrétariat de la Convention cadre sur les changements climatiques. Si l'on prend en considération le CO₂, gaz à effet de serre, les émissions par habitant pour l'année 1994 sont de 4,26 Tonnes Equivalent – CO₂. Si l'on prend en considération uniquement le CO₂, cela correspond à 2,85 Tonnes de CO₂/habitant. A titre indicatif, la moyenne mondiale est de 4,2 Tonnes de CO₂ par habitant, celle des USA est de

plus de 20 Tonne/habitant, celle de la France à plus de 7 Tonne/habitant et celle de la Tunisie de 2,4Tonne/habitant. Tout le monde se tourne envers nous (Les architectes) principalement pour une architecture avec zéro émission de Co₂.

BIBLIOGRAPHIE

[En Ligne] (<http://www.ipcc.ch/>)

[En Ligne] (<http://www.kyot-home.com/articles-41.html>)

[En Ligne] <http://www.menergie.ch/fr> , Label MINERGIE

[En ligne] http://evl.cstb.fr/main/home_vl.asp , Page web 1, 29 décembre 2006
et <http://www.institut-solaire.com/outils.htm> , page 1, décembre 2006

[En ligne] <http://www.abyz.be/frans/fr.htm> Dobiss Domotique

[En ligne] <http://www.addi.org> (Association pour le Développement de la Domotique).

[En ligne] <http://www.anme.nat.tn.ANME> , Tunisie

[En ligne] <http://www.cstb.fr/CSTB>, France

[En ligne] <http://www.eetd.lbl.gov/gundog> , Lawrence Berkeley National Laboratory:

[En ligne] http://www.eren.doe.gov/buildings/tools_directory/toolsdir.htm.

[En ligne] http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/se_stats14.htm#1 – (Page consultée le 05 mars 2006)].

[En ligne] http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/se_stats14.htm#1 – (Page consultée le 05 mars 2006)].

[En Ligne] <Http://www.passiv-haus>.

[En ligne] <http://www.sonelgaz.dz/Plan-national-Gaz>. Page 3.

[En Ligne] <http://www.sonelgaz.dz/Potentiels-des-Energies>

[En Ligne] <Http://www.effnergie.fr>

[En ligne] Ministère de l'économie des finances et de l'industrie, 16/11/2004.
« 20 ans de chauffage dans les résidences principales en France de 1982 à 2002.
Observatoire de l'énergie. Octobre 2004 »

[En Ligne] www.amisdelaterre.org/rubrique.php3?id_rubrique=12 Les Amis de la Terre, 2006, Campagne "Responsabilité des acteurs financiers").

[En Ligne] www.unfccc.int/resource/docs/convkp/kpfrench.pdf. Protocole de Kyoto, 11 décembre 1997,

A.B.De VRIEND, 1984, La transmission de la chaleur, 2 Volumes en trois tomes, la conduction thermique Vol1 Tomes 1 et 2, Introduction au rayonnement Thermique, Gaétan Morin Edition. Canada 1984, ISBN 2-89101-083-5.

A.Guyot « conception architecturale en fonction du vent », fascicule 2260 Editions techniques, Encyclopédie du Bâtiment, édition Eyrolles

ADEME, Ministère de l'Aménagement, France, Appel à projets OPATB – Opération Programmée d'Amélioration Thermique et Energétique des Bâtiments - Un défi environnemental pour les collectivités ».

ADEME, Qualité Environnementale des Bâtiments - Manuel a l'usage de la maîtrise d'ouvrage et des acteurs du bâtiment, 2002

Alain MAUGARD Conférence du Président du Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB), « Le bâtiment À énergie positive », Clubs Mines - Environnement & développement durable et Mines - Energie le 20 février 2006

Albert Bondil et Jean Hrabovsky Isolation thermique Tome 1 –Edition 1978.

ARCHICUBE et **CODYMUR**, logiciels de simulation des ponts thermique et du comportement thermique d'une paroi en régime variable Joseph VIRGONE - Centre de Thermique de Lyon, Equipe TB et Jean NOEL - Article CIFQ2003 - VIe Colloque Interuniversitaire Franco - Québécois - Thermique des systèmes - 26-28 mai 2003, Québec.

Architectures d'été : construire pour le confort d'été / Jean-Louis Izard - Aix en Provence : Edisud, 1993.

ARENE, Agence Régionale de l'Energie Provence-Alpes-Côte d'Azur CMCI, Commission Européenne, 1999.

ASHRAE 1997 Hand book of Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers (ASHRAE). Atlanta, Georgia, Etats-Unis. (En anglais).

ASHRAE, 1995, Addendum to Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Standard 55a.

ASHRAE, La norme 55-1992 et son addenda 1995 de l'American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers intitulée Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.

B Givoni, l'homme, l'architecture et le climat – Edition du moniteur, 1978

BBR, Voir l'étude de l'IWU pour l'office fédéral de la construction et de l'aménagement du territoire (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung BBR) : Entwicklung eines vereinfachten, statistisch abgesicherten Verfahrens zur Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung des Energieprofils von Gebäuden („Kurzverfahren Energieprofil“), Januar 2005.

Bernard, A. et M. Vielle (1999) Rapport à la MIES relatif aux implications sectorielles du protocole de Kyoto effectuées avec le modèle GEMINI-E3 XL France : <http://ecolu-info.unige.ch/~nccrwp4/GEMINI-E3/RapportMIES2.pdf>

BLOCH J M – LAINE, Guide pratique de l'isolation thermique des bâtiment, Edition Ayrolle 1977.

Borel, J. « Application du règlement de la construction en Algérie. Définition des zones climatiques, Paris, Ch. C.S.T.B. n° 57, 1962.

Borel, J. Application du règlement de la construction en Algérie. Définition des zones climatiques, Paris, Ch C.S.T.B. N° 57, 1962.

BOUTERFA Noureddine, 'Pour une utilisation Rationnelle des Ressources Energétiques Nationales. Communication : Congrès sur les énergies renouvelables, la maîtrise de l'énergie de l'environnement, Biskra 3-5 Novembre, 1997.

BRAGER Gail S., de DEAR Richard J. (1998). Thermal adaptation in the built environment: a literature review. Energy and Buildings 27 (1).

BRUANT Marc. (1997). Développement et paramétrage de contrôleurs flous multicritères du confort d'ambiance. Thèse de doctorat : INSA de Lyon. Lyon.

BRUNO Peuportier, 2005, 'Banc d'essai de logiciel de simulation thermique',

C.A. Roulet, Energétique du Bâtiment ; livre ; Presses Polytechniques Romandes ; 1987) et (Règles Th-K77, règles de calcul des caractéristiques thermiques utiles des parois de Construction ; novembre 1977

Cahiers du C.S.T.B. – Incidence des caractéristiques solaires d'un logement sur ses besoins de chauffage. Octobre 1979.

CARRIER Manuel, Première partie : Calcul du bilan thermique, Carrier International LTP, New-York, USA, 2ème Edition, 1960.

CELINE Trousseau, Réinhard « Bref aperçu sur les caractéristiques des labels existants », six – 21/10/05 Présentation dans le cadre du projet Cluser éco - énergie

Chelloug Fatima Zohra, "Evaluation Influant sur le Confort Hygrothermique cas de la Région de Constantine". **Thèse de Magister, 2000.**

Code de la Construction et de l'Habitation, Livre 1, Dispositions Générales 'extraits' ; Textes réglementaires français

Conception thermique de l'habitat, Guide pour la région Provence,– Alpes - Cote d'Azur, Edition EDISUD, 1998

COSTIC, Guide technique de la climatisation individuelle, Nouvelle édition, SEDIT Editeur, France, 1995, 185 p.

CSTB, 2006, Décret n°2006-592 du 24 mai 2006 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des constructions (JO du 25 mai 2006).

Département développement durable – Compte Rendu d'Activités 2003. France – juillet 2004 DDD – 04 – 001R – Centre scientifique et technique du bâtiment

Document technique réglementaire DTR C3-2 Fascicule 1- réglementation thermique des bâtiments d'habitation – règles de calcul des déperditions calorifiques Janvier 1997 – RADP

Document technique réglementaire DTR C3-2 Fascicule 1- réglementation thermique des bâtiments d'habitation – règles de calcul des déperditions calorifiques Janvier 1997 – RADP

E. Gratia, Architecture et Climat.. 1998 Aide théorique Opti-Maisons de la période de chauffage.

E.Palomo et L.Mora, Vers une plateforme virtuelle de modélisation énergétique du bâtiment, ECD « Energie – Conception – Durable », 2004 – Rapport de résultats de l'appel à propositions.

Ebert R. "Développement d'un environnement de simulation d'un système complexe Application aux bâtiments – Thèse présentée devant l'école nationale des ponts et chaussées, novembre 1993.) et (Garnier C: "Conception et développement d'une bibliothèque de modèles de thermodynamique appliqués" - Thèse présentée devant l'école nationale des mines de paris, décembre, 1995.) et (Keilholz, W,P: "Développement d'un outil de calcul intégré multi – domaine, basée sur une approche orienté objet " Thèse présentée à l'université de Nice – Sophia Antipolis – janvier 1996.)

Ebert, R « Développement d'un environnement de simulation d'un système complexes - applications aux bâtiments ». Thèse présentée devant l'école nationale des ponts et chaussées, novembre 1993). (Garnier, C : « Conception et développement d'une bibliothèque de modèles de thermodynamiques », Thèse présentée devant l'école des mines de Paris, décembre 1995. Quiloz. W.P : « développement d'un outil de calcul intégré multi – domaine, basée sur une approche orientée objet » thèse présentée à l'université de Nice, Sophia Antipolis, janvier 1996.

Ecole des Mines de Paris, Casamo-Clim - Logiciel de calcul de confort thermique, Cahier de recommandations et compléments scientifiques, Ademe Documents Pédagogiques, 1990.

El Kortbi, M, E Johansson, M Mraissi et H Rosenlund 1999b Isolation thermique et confort dans le bâtiment – Etude préliminaire, LCHS, Université de Lund, Suède.

El Kortbi, M, E Johansson, M Mraissi et H Rosenlund 1999b, Isolation thermique et confort dans le bâtiment – Etude préliminaire, LCHS, Université de Lund, Suède.

Ellis, M. W., Matheus, E. H. (2001). A new simplified thermal design tool for architects. *Building and Environment* 36, 1009-1021.

Energies & matières premières » La lettre de la Direction Générale de l’Energie et des Matières, Premières, MINEFI, n°20, 2^{ème} trimestre 2002

Eugene Dumitriu – Valcea, Isolation thermique des constructions en Algérie, Edition 998/81 Alger, 1986.

Eugene et Diunitriu, Isolation thermique des constructions en Algérie, N° Edition 998/81, Alger, 1986

European Passive Solar Handbook, preliminary edition P Achard and R Gicquel. Commission of the European Communities 1986.

European Passive Solar Handbook, preliminary edition. Edited by P Achard and R Gicquel. Commission of the European Communities, 1986.

Fanger, ISO 7730:1994, Ambiances thermiques modérées – Détermination des indices PMV et PPD et spécifications des conditions de confort thermique. AFNOR. Paris.

FASOL_V - Calcul du rayonnement solaire des vitrages », Logiciel CSTB

FOURA Samir, Pr Zerouala Med Salah, Simulation des paramètres architecturaux du confort thermique d’hiver en Algérie, 2007. Sciences et Technologie D – N°26 Décembre (2007). Pp 76-85.

GAGGE ASHRAE Handbook. (1997). ASHRAE Handbook of Fundamentals. Chapter 8 : Thermal comfort. ASHRAE Atlanta.

GANDEMER, GUYOT. - Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti, CSTB, 1976.

Gratia, E., De Herde, A. (2002) A simple design tool for the thermal study of an office building. Energy and Buildings 34, 239-289.

Guide de l'architecture bioclimatique : haute qualité et développement durable / Comité d'Action pour le Solaire, Architecture et Climat - Commission Européenne : -Tome 1 : connaître les bases - Tome 2 : construire avec le climat, 2003.

Institut de l'énergie et de l'environnement de la francophonie, IEPF, « Les campagnes de mesure des consommations d'électricité », 2005.

ISO 7730 :1994, Ambiances thermiques modérées – Détermination des indices PMV et PPD et spécifications des conditions de confort thermique. AFNOR. Paris.

J. Gandemer, A.Guyot " la protection contre le vent, aérodynamique des brise-vent et conseils pratiques" CSTB Nantes, groupe abc, 1981 diffusion cstb)

Jean et Françoise Fourastier, *Histoire du Confort*, Presses Universitaires de France, 1962, Éditions Que-sais-je ?

Johansson, E – Réglementation Thermique, étude bibliographique. Rapport Intermédiaire, HDM (Université de Lund, Suède) /LPEE, Maroc

KELLIL Brahim et **ABBAS Nassir**, Implications potentielles de SONELGAZ dans la politique de maîtrise de l'énergie et protection de l'environnement. Projet de coopération (Interuniversitaire Batna –TU Berlin, Algéro – Allemagne

KEMAJOU A., **LECOMTE D.** et **ESSAMA L.**, Des données pour le calcul des charges de conditionnement d'air pour les climats tropicaux humides, *Promoclim E*, Vol. 6, n°92, 1992, p. 389398.

Klein S. A. et al 1996 TRNSYS, Version 14.2.

Le logement social et la ville", 22ème conférence internationale du Réseau Habitat et Francophonie, Tanger - 13 au 19 novembre 1999

Le Recknaguel « Manuel Pratique du Génie Climatique », PYC Edition 1985.

M. Michel TOURMENT La place des énergies renouvelables en Nord-Pas de Calais RAPPORT au Conseil Economique et Social Régional de France présenté lors de la séance plénière du 6 juin 2006.

Marc-André VELAY-DABAT Maîtrise des ambiances, EAML 2004.

Mark Zimmermann e Johnny Andersson. "Case Study Buildings, Low Energy Cooling", Annex 28 of the International Energy Agency, Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme. EMPA, Switzerland, 1998.

Markus T A et **E N Morris**, 1980 Buildings, Climate and Energy, Pitman Publishing, Londres, Grande-Bretagne. ISBN : 0 273 00266. (En anglais)

MINEFI, Energies & matières premières » La lettre de la Direction Générale de l’Energie et des Matières Premières, , n°20, 2^{ème} trimestre 2002

Ministère de l’Energie et des Mines, 2005, Alger, Algérie.

Ministère de l’habitat et de l’urbanisme – (Commission Technique Permanente, Réglementation thermique des bâtiments d’habitation et règles de calcul des déperditions calorifiques, Document Technique Réglementaire, CNERIB, Décembre 1997, Alger, Algérie.

MINISTERE DE L’HABITAT ET DE L’URBANISME, 1997 – Commission Technique Permanente, Réglementation thermique des batiments d’habitations et Règles de calcul des déperditions calorifiques, Documents Technique Réglementaire, CNERIB, décembre 1997, Alger, Algérie.

Ministère de l’habitat et de l’urbanisme, Commission Technique Permanente, Règles de calcul des apports calorifiques, Document Technique Réglementaire, CNERIB, aout 1998, Alger, Algérie.

Ministère de l’habitat, ‘Recommandations Architecturales’, EBAG/édition, Alger 1993.

Ministère de l’habitat, Document Technique Réglementaire (D.T.R C 3-2 et D.T.R C 3-4, 1998), Réglementation thermique des bâtiments d’habitation « Règles de calcul des déperditions calorifiques, Fascicule 1 et Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments, Fascicule 2 »

Ministère de l’Aménagement du Territoire et de l’Environnement Communication Nationale Initiale 2001, Direction générale de l’environnement.

MM. Nicolas et Vaye, Pour une approche bioclimatique de l’architecture, Juin 1978.

Morphologie, végétal et microclimat urbain, groupe ABC, école d’architecture Marseille Luminy – Plan Urbain, 1997.

N.Bentaieb, S.Belaadi, D.Touil and Y.Baghdadi, LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE ISSUES DU SECTEUR CIMENTIER ALGÉRIEN, Faculté de G.M.G.P (U.S.T.H.B) Laboratoire L.G.R - EURODEUR – ECGP’6 2007 – France – Marseille.

Nicodème Lonfils, Utilisation rationnelle de l'énergie dans l'habitat, , Agence de l'énergie Bruxelloise (ABEA), 26 Avril 2006

Norme NF EN ISO 10211-2, avril 1996.

OLIVIER Sidler 'Pertes de chaleur d'une maison traditionnelle', L'habitat social économe en charge), St Etienne - 21 juin 2000

OLIVIER SIDLER Commission des Communautés Agence de l'environnement et Européennes de la Maîtrise de l'Energie – « Etude expérimentale des appareils électroménagers à haute efficacité énergétique placés en situation réelle », PROJET ECODROME, PROGRAMME SAVE CONTRAT N° 4.1031/S/94-093 – Rapport final Janvier 1998 CABINET Ingénierie énergétique.

OLIVIER SIDLER, 2000 ADEME, Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie « L'HABITAT SOCIAL ECONOME EN CHARGES » - Ingénieur Conseil, St Etienne - 21 juin 2000

ONS, Office national des statistiques – recensement 1998

ONS, Office nationale des statistiques, Algérie, 2006.

Organisation internationale de normalisation .Ambiances thermiques Appareils et méthodes de mesure des grandeurs physiques, ISO 7726-1985, 38 p., (NO-120152).

P. Jardinier : La pratique de la ventilation dans les locaux d'habitation. QR Ce-gibat. Editions, Sedit, 1980.

Patrick Bacot, Analyse modale des systèmes thermiques, Doctorate Thesis, University Paris VI, 1984.

Pierre Lavigne, Architecture climatique, une contribution au développement durable (tomes 1 et 2) - Edisud - 1994.1998.

PORCHER G., Cours de climatisation, Les éditions parisiennes chaud-froid-plomberie, CFP, 1993.

PORCHER.G, Cours de climatisation (Tome1 et Tome2), Base de calcul des installations de climatisation CFP ^{6ème} édition

PR NF EN 13363-1 « Dispositifs de protection solaire combiné à des vitrages. Calcul du facteur de transmission solaire et lumineuse. Partie 1 : méthode simplifiée », février 1999

PR NF EN 13363-2 « Dispositifs de protection solaire combinés à des vitrages - Calcul du facteur de transmission solaire et lumineux - Partie 2 : méthode de référence », décembre 2002

R. Angioletti, C. Gobin, M. Weckstein 24 critères pour concevoir et construire un bâtiment dans une logique de développement durable / - cahier du CSTB n° 2864 – 1996.

R. Cadiergues : Consommation de chauffage : la récupération des apports gratuits. Promoclim E. Juin 1986.

R. Cadiergues : Proposition pour une méthode de calcul des besoins de chaleur. Promoclim E. Avril 1978

R. Cantin, B. Moujalled, Dr HDR G. Guarracino, 'Complexité du confort thermique dans les bâtiments', 6ème congrès Européen de Science des Systèmes Paris, 19-22 septembre 2005,

Recknagel Sprenger, manuel pratique du génie climatique, traduit et adapté de l'allemand par J.L. Cauchepin, 1437 pages, Pic Edition, Paris 1980, ISBN 2-85330-040-4.

Recknagel, H, et al. 1995 Le Recknagel: Manuel pratique du génie climatique. Tome 1 : Données fondamentales. PYC Editions livres, Paris, France

Recknagel – Manuel pratique du génie climatique – PYC 2^{ème} édition 1986.

Règlement thermique des bâtiments d'habitation DTR C 3-2– Règles de calcul des déperditions calorifiques - Fascicule 1 – Ministère de l'habitat – Chapitre 7, Déperdition par renouvellement d'air page 53

RIETSCHEL H ET RAISS.W, Traité de chauffage et de climatisation, Tome 2, Edition Dunod, Paris 1974.

ROULET C.A – Energétique du bâtiment, Prestations du bâtiment, bilan énergétique global. Livre, tome II, Presses Polytechnique Romandes 1987, Lausanne, Suisse.

RT2005, Plus de performance, plus de confort », Note de la GDUHC, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, novembre 2000, France

S.M.K El Hassar, Normes de Confort Thermique, Rapport intermédiaire n°1, Phase 2 ;; Rapport CNERIB. Souidania, août 1995

S.V.Szokolay, Environmental Science Handbook, The construction press edition, 1980

S.VSzokolay, Environmental Science Handbook for architects and builders, the construction press, 1980.

Samir Foura, The development of algorithms for steady state thermal models for the gable system, Mphil, Septembre 1987. Sheffield, England.

SCHREIBER, L. Normes sur les conditions d'ambiances thermiques acceptables pour le confort, 1985, 33 p., CS-000220.

SCHREIBER, L. Normes sur les conditions d'ambiances thermiques acceptables pour le confort, 1985, 33 p., (CS-000220).

Shaviv, E., Yezioro, A., Capeluto, I. G., Peleg, U. J., Kalay, Y. E. (1996) Simulations and knowledge-based computer-aided architectural design (CAAD) systems for passive and low energy architecture. Energy and Buildings 23, 257-269.

Shaviv, E., Yezioro, A., Capeluto, I. G., Peleg, U. J., Kalay, Y. E. (1996) Simulations and knowledge-based computer-aided architectural design (CAAD) systems for passive and low energy architecture. Energy and Buildings 23, 257-269.

SIDI MOHAMED KARIM EL HASSAR ; AMIRAT Madjid ; SILHADI Kamel ; SOUICI Messaoud ; SAKHRAOUI Saïd, Réglementation thermique algérienne des bâtiments : Contribution à la définition de nouveaux coefficients réglementaires, Revue française de génie civil (Rev. fr. génie civ.) ISSN 1279-5119 – Source : 2002, vol. 6, n°4, pp. 661-681 [21 pages (s) (article)].

SIDLER O. - Evaluation de l'opération d'habitat climatique de l'Office Public Départemental d'HLM de la Drôme, Tome 1 : « Evaluation énergétique » - Cédial - Octobre 1990.

SIDLER O. « Architecture climatique et respect des équilibres financiers en logement social » Communication au séminaire «Architecture climatique » - ADIL du Doubs - 23 et 24 mai 1996.

SOL A.I.R., Conception thermique de l'habitat. Edisud 1988

I,Husaunndee Ahmed, M, " modélisation des installation de génie climatique en environnement de simulation graphique", Ecole national des ponts et chaussées de Paris. Doctorat Sciences et Techniques du Bâtiment, ENPC. Février 1999.

Solar Energy Laboratory. User manual. University of Wisconsin, DOE2, ESP.

Annexe : TABLEAUX

Matériau	Conductibilité thermique λ (W/m.°C)
Béton de granulats légers	
Béton caverneux de pouzzolane ou de laitier expansé	0.52
Béton d'argile expansée ou de schiste expansé	0.35
Béton plein dit « de structure »	1.05
Béton plein dit « isolant et porteur »	0.70
Béton caverneux	0.33
Béton cellulaire	
Béton autoclave dit béton de gaz	0.33
Béton « mousse »	0.20
Mortier (d'enduits et joints)	
Mortier bâtard	1.15
Mortier de ciment	1.4
Mortier de chaux	0.87
Plâtres	
Plâtre gâche serre ou très serré (plâtre de très haute dureté projeté)	0.50
Plâtre courant d'enduit intérieur	0.35
Carreaux de plâtre pleins	0.35
Panneaux ou plaques de plâtre	
Panneaux courants	0.35
Panneaux à parement de carton spécial feu	0.30

Tableau 15: Conductibilité thermique des matériaux

Brique silico - calcaire	0.80
Brique pleine	
Brique perforée	0.56
Bois (parquets, revêtement muraux, etc.)	0.23
Feuillus mi lourds (chêne, hêtre dur, fruitiers)	0.23
Résineux très lourds	0.15
Feuillis légers (tilleul, érable, chêne, hêtre tendre)	0.15
Résineux mi lourds (pin sylvestre, pin maritime)	0.12
Résineux légers (sapin, épicéa)	0.12
Feuillus très légers (peupliers)	
Liège Comprimé	0.10
Expansé	0.044
En granulats en vrac	0.06
Hourdis en béton courant	0.23

Tableau 16: Conductivité thermique des matériaux

Pierres	λ (W/m.°C)
Andésite	1.1
Ardoise	2.2
Basalte	1.6
Granit	2.8
Grès (silice)	2.3
Grès calcaire	1.9
Lave	0.55
Marbre	3.5
Meulière	1.8
Pierre dure	1.7
Pierre ferme	1.4
Pierre tendre	1.1
Pierre très dure	2.3
Pierre très tendre	0.85
Pierre ponce	0.12
Porphyre	3.5
Schiste	2.2
Silex	2.6

Tableau 17: La Conductivité thermiques des Pierres

Bétons. λ (W/m.°C)	
Bauge	1.1
Béton caverneux	1.35
Béton caverneux d'argile expansée	0.33
Béton cellulaire collé masse vol. 400	0.16
Béton cellulaire collé masse vol. 450	0.17
Béton cellulaire collé masse vol. 500	0.18
Béton cellulaire collé masse vol. 550	0.20
Béton cellulaire collé masse vol. 600	0.22
Béton cellulaire collé masse vol. 650	0.24
Béton cellulaire collé masse vol. 700	0.26
Béton cellulaire collé masse vol. 750	0.28
Béton cellulaire collé masse vol. 800	0.30
Béton cellulaire maçonné masse vol. 400	0.20
Béton cellulaire maçonné masse vol. 450	0.21
Béton cellulaire maçonné masse vol. 500	0.22
Béton cellulaire maçonné masse vol. 550	0.24
Béton cellulaire maçonné masse vol. 600	0.25
Béton cellulaire maçonné masse vol. 650	0.27
Béton cellulaire maçonné masse vol. 700	0.30
Béton cellulaire maçonné masse vol. 750	0.31
Béton cellulaire maçonné masse vol. 800	0.33
Béton de cendres	0.35
Béton de copeaux de bois	0.16
Béton de pierre ponce	0.46
Béton de pouzzolane	0.52
Béton de terre stabilisée	1.10
Béton de vermiculite	0.31
Béton de vermiculite (préfa. Usine)	0.19
Béton fibragglo (plaque) 350 < p <= 450	0.12
Béton fibragglo (plaque) 450 < p <= 550	0.15
Béton fibragglo (plaque) p <= 350	0.10
Béton plein	2.00
Béton plein (laitier granulé)	0.80
Béton plein armé	2.40
Béton plein d'argile expansée	0.33
Pisé	1.10

Tableau 18: La Conductibilité thermiques des bétons

Matériau : Plâtre	λ (W/m.°C)
Plâtre Placo-plâtre standard	0.25
Plâtre Placo-plâtre coupe feu	0.25
Plâtre haute dureté masse vol. 800	0.30
Plâtre haute dureté masse vol. 600	0.18
Plâtre haute dureté masse vol. 1400	0.56
Plâtre haute dureté masse vol. 1100	0.43
Plâtre courant (enduit intérieur) masse vol. $p \leq 1000$	0.40
Plâtre courant (enduit intérieur) masse vol. 1200	0.57

Tableau 19: La Conductivité thermiques des Plâtres

Terre cuite.	λ (W/m.°C)
Terre cuite masse volumique nominale 1000	0.34
Terre cuite masse volumique nominale 1100	0.38
Terre cuite masse volumique nominale 1200	0.41
Terre cuite masse volumique nominale 1300	0.46
Terre cuite masse volumique nominale 1400	0.50
Terre cuite masse volumique nominale 1500	0.55
Terre cuite masse volumique nominale 1600	0.60
Terre cuite masse volumique nominale 1700	0.64
Terre cuite masse volumique nominale 1800	0.69
Terre cuite masse volumique nominale 1900	0.74
Terre cuite masse volumique nominale 2000	0.79
Terre cuite masse volumique nominale 2100	0.85
Terre cuite masse volumique nominale 2200	0.92
Terre cuite masse volumique nominale 2300	0.98
Terre cuite masse volumique nominale 2400	1.04

Tableau 20: La Conductivité thermiques des Terres Cuites

Sols.	λ (W/m.°C)
Matériau	
Argile ou limon	1.50
Roche homogène	3.50
Sable et gravier (tout venant)	2.0
Revêtements de sol.	
Matériau	Lambda
Caoutchouc	0.17
Linoléom	0.17

Plaque de liège	0.065
Plastique	0.25
Sous-couche caoutchouc-mousse	0.10
Sous-couche feutre	0.050
Sous-couche laine	0.060
Sous-couche liège	0.065
Tapis / revêtement textile	0.060

Tableau 21: La Conductibilité thermiques des Sols

Matériaux isolants.	λ (W/m.°C)
Laine de roche classe RA1	0.017
Laine de roche classe RA2	0.041
Laine de roche classe RA3	0.038
Laine de roche classe RB3	0.039
Laine de roche classe RB4	0.041
Laine de verre classe VA1	0.047
Laine de verre classe VA2	0.042
Laine de verre classe VA3	0.039
Laine de verre classe VA4	0.037
Laine de verre classe VA5	0.034
Laine de verre classe VB1	0.051
Laine de verre classe VB2	0.045
Laine de verre classe VB3	0.041
Laine de verre classe VB4	0.038
Laine de verre classe VB5	0.035
Laine de verre classe VC1	0.056
Laine de verre classe VC2	0.049
Laine de verre classe VC3	0.044
Laine de verre classe VC4	0.040
Laine de verre classe VC5	0.036
Laine de verre classe VD1	0.050
Laine de verre classe VD2	0.048
Laine de verre classe VD3	0.043
Laine de verre classe VE1	0.037
Laine de verre classe VE2	0.039
Mousse de polyuréthane avec plaque Placo ou dérivés bois	0.035
Mousse de polyuréthane entre plaques verre ou métal	0.035
Mousse phénolique rigide	0.035

Mousse rigide de polychlorure de vinyle Q2	0.031
Mousse rigide de polychlorure de vinyle Q3	0.034
Polystyrène expansé Réf. AM	0.058
Polystyrène expansé Réf. BM ou CM	0.047
Polystyrène expansé Réf. CM ou CC	0.043
Polystyrène expansé Réf. DM ou DC	0.041
Polystyrène expansé Réf. EM ou EC	0.039
Polystyrène expansé Réf. FM ou FC	0.037
Polystyrène expansé Réf. GM ou GC	0.036
Polystyrène extrudé	0.042

Tableau 22: La Conductibilité thermiques des Isolants

Autres matériaux.	λ (W/m.°C)
Matériau	
Fibres-ciment 1400 < p <= 1800	0.65
Fibres-ciment 1800 < p <= 2200	0.95
Fibres-ciment cellulose 1000 < p <= 1400	0.35
Fibres-ciment cellulose 1400 < p <= 1800	0.46
Plaques à base de vermiculite agglomérées aux silicates 200 < p <= 300	0.10
Plaques à base de vermiculite agglomérées aux silicates 300 < p <= 400	0.14
Plaques à base de vermiculite agglomérées aux silicates 400 < p <= 500	0.19
Verre	1.15

Tableau 23: La Conductibilité thermiques La Conductibilité thermiques "Autres Matériaux"

Matériaux	Mass Vol	Chal mass	λ (W/m.°C)
	KG/M3	J/KG°C	W/M°C
Produits à base d'amiante			
<i>Plaques de Feuille d'amiante Ciment</i>	2200	840	0,95
<i>Mortier asphaltique</i>	1800	840	0,75
<i>béton asphaltique</i>	2100	840	1,05
<i>bitume</i>	1050	840	0,17
<i>béton armé</i>	2600	840	2,05
béton granulats lourd			
silico calcaire et calcaires			
<i>béton plein</i>	2400	840	1,75
<i>Hourdis</i>	1700	327	5,6
<i>béton caverneux</i>	1900	840	1,15
<i>béton de granulats d'argile expansé</i>	1800	840	1,05
<i>béton cellulaires traité à l'autoclave</i>	800	840	0,33
<i>laine minérale de roche ou de verre</i>	300	750	0,041
produits à base de verre			
<i>verre</i>	2700	1000	0,8
produits à base de plâtres			
<i>plâtres sans granulats</i>	1300	1000	0,5
matériaux en vrac			
<i>Sable, gravier, cailloux concassés</i>	1600	840	0,58
<i>sol végétal</i>	1800	840	1,16

Tableau 24: Caractéristiques Thermo techniques

Matériaux	Mass Vol	Chal mass	λ (W/m.°C)
	KG/M3	J/KG°C	W/M°C
panneaux de particules de bois	750	25,1	0,17
matériaux de remplissage thermo-isolants			
laitier	1000	840	0,29
laitier de hauts fourneaux	900	840	0,26
argile expansés ou schiste expansé	900	840	0,41
ponce naturelle	600	840	0,23
perlite	250	840	0,09
vermiculite	300	840	0,14
pierres naturelles			
granit et basalte	2800	920	3,5
grés	2400	920	2,1
marbre	2600	920	2,9
calcaires	1750	920	1,05
métaux			
fer pur	7850	480	72
acier	7800	480	
Fonte	7500	480	56
Aluminium	2700	480	230
cuivre	8950	480	380
laitier	8400	840	110
plomb	11350	840	35
zinc	2700	840	112
Matériaux Homogènes			
briques pleine en terre cuite	1800	870	0,8
briques pleines silico-calcaires	2000	870	1

Tableau 25: Caractéristiques Thermo techniques

Matériaux	Mass Vol	Chal mass	λ (W/m.°C)
	KG/M3	J/KG°C	W/M°C
mortier ou enduit de ciment	1800	840	0,95
mortier de laitier	1400	840	0,64
matériaux à base de liège			
plaques en lièges	500	2510	0,1
plaques en lièges expansés	150	2510	0,043
matériaux en rouleaux et divers			
polychlorure de vinyle	1400	1463,5	0,2
polyester	1700	1463,5	0,4
caoutchouc synthétique	1500	1463,5	0,4
carton feutre	600	1463,5	0,12
tissu bitume, carton bitumé, carton imprégné	700	1463,5	0,17
mastics et garnitures d'étanchéité (silicones, polyuréthanes)	1650	1463,5	0,4

Tableau 26: Caractéristiques Thermo techniques

K	W/m2°C	Portes donnant sur l'EXT	Portes donnant sur local non chauffé
Portes en bois			
* Portes opaques		3,5	2
Portes avec une proportion de vitrage < 30'		4	2,4
Portes avec une proportion de vitrage comprise entre 30% et 60%		4,5	2,7
Portes en métal			
portes opaques		5,8	
Portes équipées de vitrage simple		5,8	4,5

Tableau 27: K des Portes et fenêtres

Bloc creux à parois épaisses (parpaings)								
Resistance thermique en m ² C/w								
Epaisseur des blocs creux (cm)								
type des blocs	7,5	10	13	15	18	20	23	25
Blocs en béton de granulats lourds	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2		
Blocs en béton de laitier	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3		
* Blocs en béton de granulats lourds				0,1	0,2	0,2	0,2	
* Blocs en béton de laitier					0,3	0,3	0,3	

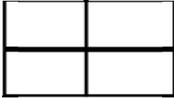



Tableau 28: Thermique en fonction de l'épaisseur et le type de bloc creux

Resistance thermique (en m ² C/w)									
Epaisseur des briques (cm)									
(Resistances superficielles non comprises)									
Formes-types des briques creuses									
	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25
(*1)	0,1								
(*2)		0,16	0,2						
(*3)				0,27	0,3	0,33			
(*4)						0,38	0,39	0,42	0,45

Tableau 29: Résistance Thermique en fonction de l'épaisseur et le style de briques

Nombre de pièces Principales	1	2	3	4	5	>5
Q_{vmin} (en m ³ /h)	25	50	75	100	110	10 m ³ /h/pièce supplémentaire

Tableau 30: Débit extrait minimal

Volume (m3)	≤100	100-500	500-2000	2000-5000	>5000
R	0,75	0,6	0,4	0,2	0,1

Tableau 31: Coefficient R d'infiltration en fonction du Volume

Nombre de pièces principales par logement	Q_{vmax} (en m ³ /h)			
	Cuisine	Salle de bains	Autre salle d'eau	Cabinet d'aisance
1	75	15	15	15
2	90	15	15	15
3	105	30	15	15
4	120	30	15	30
5 et plus	135	30	15	30

Tableau 32: Débits extrait maxima

Hauteur H Classe de rugosité					
en (m)	V	IV	III	II	I
H ≤ 4	0,4	1,47	2,71	4,06	6,36
4 < H ≤ 7	1,1	2,3	3,51	4,82	7,08
7 < H ≤ 11	1,76	3	4,19	5,46	7,67
11 < H ≤ 18	2,57	3,87	4,97	6,17	8,32
18 < H ≤ 30	3,5	4,8	5,8	6,93	9,02
30 < H ≤ 5030	4,47	5,78	6,66	7,71	9,72

Tableau 33: Classes de rugosité du site d'implantation du bâtiment.

I : au bord de mer

II : rase compagne, aéroport

III : zone rurales avec arbres, haies, zones faiblement urbanisées.

V : centre des grandes villes

IV : zones urbaines – zones industrielles – Forêts.

Type de parois	Valeur de P (m ³ /h m ² sous ΔP = 1 Pa)
Fenêtre ou porte fenêtre	4
Porte avec seuil et joint d'étanchéité	1,2
Porte	6
Double fenêtre	2,4

Tableau 34: Perméabilité de la paroi

k W/m ² °C	0,4 à 0,60	0,65 à 0,85	0,90 à 1,1	1,15 à 1,35	1,4 à 1,6	1,65 à 1,85	1,9 à 2,1
e (cm)							
20 à 24	0,07	0,08	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13
25 à 29	0,08	0,10	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16
30 à 34	0,09	0,12	0,14	0,16	0,17	0,18	0,19
35 à 40	0,10	0,14	0,16	0,18	0,19	0,20	0,21

Tableau 35: Ponts Thermique –A-

k W/m ² °C	0,4 à 0,60	0,65 à 0,85	0,90 à 1,1	1,15 à 1,35	1,4 à 1,6	1,65 à 1,85	1,9 à 2,1
e (cm)							
20 à 24	0,07	0,08	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13
25 à 29	0,08	0,10	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16
30 à 34	0,09	0,12	0,14	0,16	0,17	0,18	0,19
35 à 40	0,10	0,14	0,16	0,18	0,19	0,20	0,21

Tableau 36: Ponts Thermique –B-

KW/m ² °C	0.4 à 0.6	0.65 à 0.58	0.9 à 1.1	1.15 à 1.3	1.4 à 1.6	1.65 à 1.85	1.9 à 2.1
e(cm)							
20 à 24	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
25 à 29	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11
30 à 34	0.03	0.05	0.07	0.08	0.10	0.11	0.13
35 à 40	0.04	0.06	0.08	0.09	0.11	0.13	0.15

Tableau 37: Ponts Thermiques –C-

	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30
e1 (cm)	Isolation interrompue						
20 à 24	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,36
25 à 29	0,18	0,21	0,24	0,26	0,29	0,32	0,34
30 à 34	0,17	0,2	0,22	0,25	0,27	0,3	0,32
35 à 40	0,16	0,19	0,21	0,24	0,26	0,28	0,3
e2 (cm)	Isolation continue						
20 à 24	0,16	0,19	0,21	0,24	0,27	0,29	0,32
25 à 29	0,15	0,17	0,19	0,22	0,24	0,26	0,29
30 à 34	0,13	0,15	0,18	0,2	0,22	0,24	0,27
35 à 40	0,12	0,14	0,16	0,18	0,2	0,22	0,25

Tableau 38: Ponts Thermique – D-

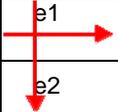
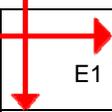
	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,50	30
20 à 24	0,14	0,18	0,22	0,25	0,29	0,32	0,36	0,39	0,43
25 à 29	0,13	0,16	0,2	0,23	0,26	0,29	0,33	0,36	0,39
30 à 34	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27	0,3	0,33	0,36
35 à 40	0,11	0,14	0,16	0,19	0,22	0,25	0,27	0,30	0,33

Tableau 39: Ponts Thermiques –D-



	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25
k W/m ² °C							
0,4 à 0,6	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05
0,65 à 0,85	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08
0,9 à 1,1	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
1,15 à 1,35	0,05	0,06	0,08	0,09	0,1	0,12	0,13
1,4 à 1,6	0,06	0,08	0,09	0,11	0,12	0,14	0,15
1,65 à 1,85	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,16	0,18
1,9 à 2,1	0,08	0,1	0,12	0,15	0,17	0,19	0,21

Tableau 40: Ponts Thermiques –E-

e1	15	17.5	20	22.5	25	27.5	0.36
e2							
20 - 24	0.19	0.22	0.25	0.28	0.31	0.34	0.36
25 - 29	0.18	0.21	0.24	0.26	0.29	0.32	0.34
30 - 34	0.17	0.2	0.22	0.25	0.27	0.30	0.32
35 - 40	0.16	0.19	0.21	0.24	0.26	0.28	0.3

Tableau 41: Ponts Thermiques –F-

	0,4 à 0,49	0,5 à 0,64	0,65 à 0,79	0,80 à 0,99	1 à 1,19	1,2 à 1,49	1,5 à 1,79	1,8 à 2,19	2,2 à 2,59	2,6 à 3,09
20 à 24	0,14	1,40	1,65	1,85	2,05	2,25	2,45	2,65	2,80	3
25 à 29	0,13	1,30	1,50	1,70	1,90	2,05	2,25	2,45	2,65	2,85
30 à 34	0,12	1,15	1,35	1,50	1,65	1,90	2,05	2,25	2,45	2,66
35 à 40	0,11	1,00	1,15	1,30	1,45	1,65	1,85	2,00	2,20	2,35
		0,85	1,00	1,15	1,30	1,45	1,65	1,80	2,00	2,15
		0,70	0,85	1,00	1,15	1,30	1,45	1,65	1,80	1,95
		0,60	0,70	0,85	1,00	1,10	1,25	1,40	1,55	1,75
		0,45	0,55	0,65	0,75	0,90	1,00	1,15	1,30	1,45
		0,35	0,40	0,50	0,60	0,65	0,80	0,90	1,05	1,15
		0,20	0,30	0,35	0,40	0,50	0,55	0,65	0,75	0,85
		0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,55

Tableau 42: Ponts Thermiques –G-

efficent de Correction en fonction du ciel a1 a2 b1 b2				
	A1	A2	B1	B2
Ciel pur	94.00	0.40	1130.00	1.15
Conditions normales	125.00	0.4	1080.00	1.22
Zones industrielle	167.00	0.4	995.00	1.25

Tableau 43: Conditions du Ciel

Coefficient A et B en fonction des conditions météorologique			
	Ciel pur	Condition Normale	Zone industrielle
A	0.87	0.88	0.91
B	0.17	0.26	0.43

Tableau 44: Conditions Météorologiques

Facteur de Correction en fonction de l'inertie thermique et de l'utilisation de chauffage				
Durée de chauffage/Semaine	Facteur de Correction	La Masse du bâtiment		
		Leger	Moyen	Lourd
7 jours	k1	1	1	1
5 jours		0.75	0.85	0.85
Masse Thermique	Type de bâtiment			
tres lourd	Plusieurs étages, maçonnerie ou béton, partitionnement lourd			
Lourd	fenetres larges, large dimension des partition et plancher			
Moyen	Etage simple, maçonnerie or béton et partitionnement moyen			
Leger	Etage simple d'un bâtiment de type equipement avec un leger partiotionnement			

Tableau 45: L'inertie Thermique et l'intermittence du Chauffage – K1-

Facteur de Correction en fonction de l'inertie thermique et de l'utilisation de chauffage				
Durée de chauffage/ Jour	Facteur de Correction	La Masse du bâtiment		
		Leger	Moyen	Lourd
4 heures	k2	0.68	0.82	0.96
8 heures		1	1	1
12 heures		1.25	1.13	1.02
16 heures		1.4	1.21	1.03
Masse Thermique	Type de bâtiment			
tres lourd	Plusieurs étages, maçonnerie ou béton, partitionnement lourd			
Lourd	fenetres larges, large dimension des partition et plancher			
Moyen	Etage simple, maçonnerie or béton et partitionnement moyen			
Leger	Etage simple d'un bâtiment de type equipement avec un leger partiotionnement			

Tableau 46: L'inertie Thermique et l'intermittence du Chauffage – K2-

Facteur de Correction en fonction de l'inertie thermique et de l'utilisation de chauffage				
Chauffage + Fonctionnement	Facteur de Correction	La Masse du bâtiment		
		Leger	Moyen	Lourd
Continue	k3	1	1	1
Irregulier + Long		0.7	0.85	0.95
Irregulier + Rapide		0.55	0.7	0.85
Masse Thermique	Type de bâtiment			
tres lourd	Plusieurs étages, maçonnerie ou béton, partitionnement lourd			
Lourd	fenetres larges, large dimension des partition et plancher			
Moyen	Etage simple, maçonnerie or béton et partitionnement moyen			
Leger	Etage simple d'un bâtiment de type equipement avec un leger partiotionnement			

Tableau 47: L'inertie Thermique et l'intermittence du Chauffage – K3

l'inertie thermique et de l'utilisation de chauffage

Durée de chauffage/Semaine	Facteur de Correction	La Masse du bâtiment		
		Leger	Moyen	Lourd
7 jours	k1	1	1	1
5 jours		0.75	0.85	0.85
Durée de chauffage/ Jour				
4 heures	k2	0.68	0.82	0.96
8 heures		1	1	1
12 heures		1.25	1.13	1.02
16 heures		1.4	1.21	1.03
Chauffage + Fonctionnement				
Continue	k3	1	1	1
Irregulier + Long		0.7	0.85	0.95
Irregulier + Rapide		0.55	0.7	0.85

Masse Thermique tres lourd	Type de bâtiment Plusieurs étages, maçonnerie ou béton, partitionnement lourd
Lourd	fenêtres larges, large dimension des partitions et plancher
Moyen	Étage simple, maçonnerie ou béton et partitionnement moyen
Leger	Étage simple d'un bâtiment de type équipement avec un léger partitionnement

Tableau 48: L'inertie Thermique et l'intermittence du Chauffage – K1, K2, K3-

Type de vitrage	Epaisseur de la lame d'air (mm)	Nature de la menuiserie	Paroi verticale	Paroi horizontale
Vitrage simple	****	Bois	5	5,5
		Métal	5,8	6,5
	5 à 7	Bois	3	3,5
		Métal	3,4	4,3
	8 à 9	Bois	3,1	3,3
		Métal	3,9	4,2
	10 à 11	Bois	3	3,2
		Métal	3,8	4,1
	12 à 13	Bois	2,9	3,1
Double fenêtre	plus de 30	Bois	2,6	2,7
		Métal	3	3,2

Tableau 49: Coefficient K des vitrages

béton de perlite	A
feuille de polychlorure de vinyle	0,55
feuille de polyéthylène	0,7
feuille bitumeuse protégée avec sable clair	0,84
feuille bitumeuse protégée avec feuille d'AL	0,42
feuille bitumeuse protégée sable gris	0,88
feuille bitumeuse protégée sable rouge	0,94
feuille bitumeuse protégée sable vert	0,9
verre 4...5 mm ep	0,4
verre de construction 6 mm ep	0,54
laitier	0,89
laine minérale	0,81
enduit de chaux en couleur calire	0,42
enduit de chaux en couleur gris	0,73
enduit de chaux en blanc	0,4
enduit de ciment blanc	0,32
enduit de ciment bleu	0,59

Tableau 50: Facteur d'absorption de la radiation solaire A des matériaux

Coefficient de correction en fonction du type de Menuiserie	
Menuiserie Métallique	1
Menuiserie en Bois	0,85

Tableau 51: Correction en fonction de la menuiserie

Coefficient de correction en fonction des protections		
Dispositifs de protection	Couleur	C
Jalousie INT	Claire	0.56
	Sombre	0.76
Jalousie EXT		0.14
Stores INT	Sombre	0.41
	Claire	0.81
Vitrage sans dispositif de protection solaire	0.85	1

Tableau 52: Coefficient de Correction en fonction des protections solaires

Orientation	N	NE	E	SE
am	180	-135	-90	-45
	SO	SO	O	NO
	0	45	90	135

Tableau 53: L'angle am entre la direction Sud et la normale au plan considéré

Condition Climatique Extérieurs de base					
Condition de base		été		Hiver	
Zone climatique		Altitude (m)	Ecart Diurne	Temp de base	Temp de base
		<500	9	34	6
Zone A		500-1000	10	33,5	1
		>1000	9	30,5	1
		<500	15	38	2
Zone B		500-1000	15	37	1
		>1000	14	35	-1
		>500	18	41	0
Zone sous B					
Zone C		500-1000	20	39,5	-2
		>1000	18	36	-4
		<500	20	46	0
Zone D		500-1000	18	42	-2
		>1000	16	37,2	-4

Tableau 54: Condition Climatique Extérieurs de base

LOCAUX	Type d'éclairage	Incandescences W/m²	Fluorescence W/m²
Habitations :			
Cuisine ou Salle de bains	Direct	17	8
	Diffus	33	
Chambre à coucher	Direct	9	4,5
	Diffus	17	
Salle de Séjour	Direct	17	7
	Diffus	25	
Locaux Industriels :			
Bureaux	Direct	32	10
	Diffus	44	
Bibliothèques	Direct	26	9
	Diffus	35	

Tableau 55: Eclairage

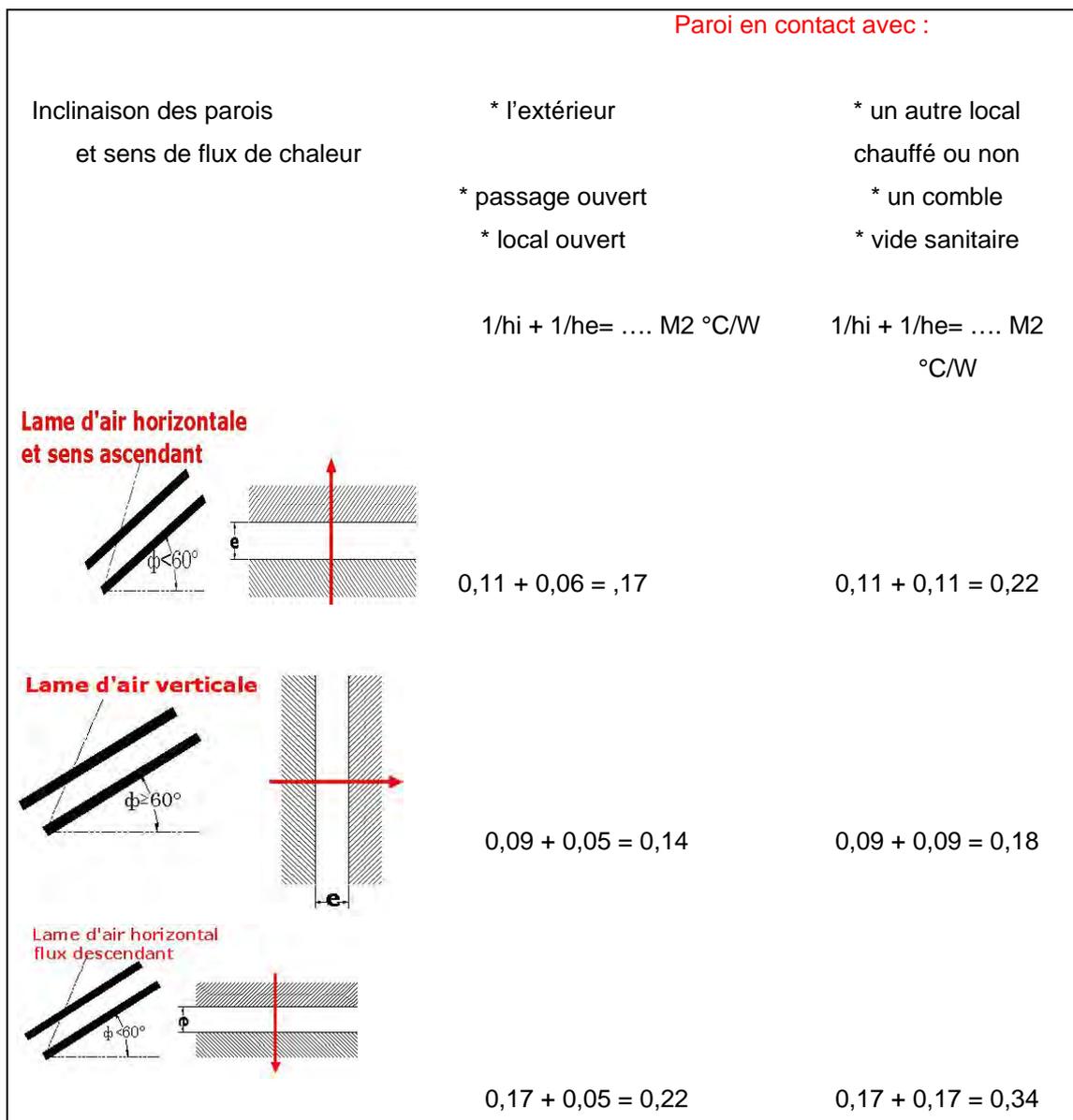


Figure 85: Inclinaison des parois et le sens de chaleur
 Epaisseur des briques (cm)

(Resistances superficielles non comprises)

Formes-types des briques creuses

	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25
(*1)	0,1								
(*2)		0,16	0,2						
(*3)				0,27	0,3	0,33			
(*4)						0,38	0,39	0,42	0,45

Tableau 56: Resistance Thermique des Briques creuses- m²°C/w

Vecteur	Facteur conversion du combustible		
	Unité	En MJ	En kWh
Gaz naturel pauvre	M ₃	32,97	9,16
Electricité	KWh	3,6	1
Gas butane	Kg	45,56	12,66
Gas naturel riche	M ₃	36,43	10,12
Anthracite 10/20	Kg	31,4	8,72
Coke	Kg	28,5	7,92
Propane	L	23,72	6,59
Gasoil chauffage	L	35,87	9,96
Fuel léger	L	36,37	10,1
Fuel moyen	L	37,68	10,47

Tableau 57: Facteur de Conversion du combustible

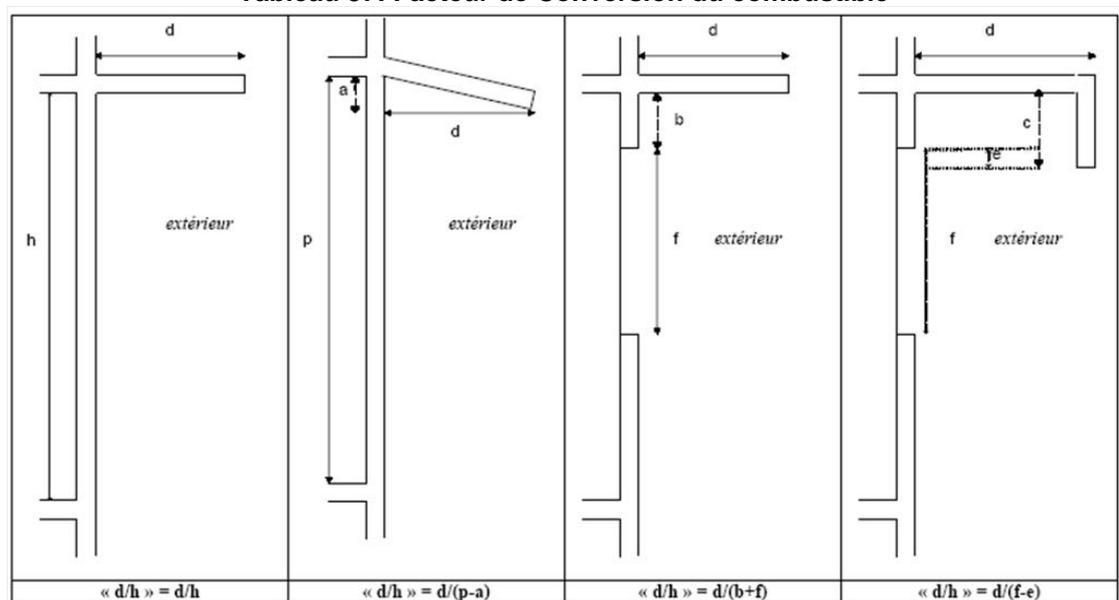


Figure 86: Auvents

Annexe : Facturation détaillée (Source : Sonelgaz)

		Période : 1^{er} trimestre 2007					
Montant de consommation journalière :		94,76 DA/jour					
Contribution aux coûts permanents du système :		15,08 DA					
<u>CONSOMMATIONS</u>							
	Tarif	Compteur	Relevé de compteur			Coeff	Consommations kWh / Thermie
			Nouveau	Ancien	Différence		
PMD = 2 kW	E01	003736	49 341	47 806	1 535	1,00	1 535
DMD = 5 m ³ h	G83	001968	2 040	1 480	560	9,10	5 096

<u>DETAIL DE FACTURATION (HT)</u>								
	Première tranche		Deuxième tranche		Troisième tranche		Prime fixe (DA)	Prix HT par tarif (DA)
	Consommation	Prix uni- taire DA	Consommation	Prix uni- taire DA	Consommation	Prix unitaire DA		
elec E01	125,00	1,779	1 410,00	4,179			52,44	6 167,21
gaz G83	1 125,00	0,168	3 971,00	0,324			85,00	1 560,60

<u>CALCUL DES TAXES ET RECAPITULATION</u>					
		Montant hors TVA (DA)	TVA		Montant TTC (DA)
			Taux	Montant (DA)	
	Elec E01	6 167,21	7	431,70	6 598,91
	Gaz G83	1 560,60	7	109,24	1 669,85
	Droit fixe	100,00			100,00
	Taxe habitation	75,00			75,00
	Timbre	85,00			85,00
		7 987,81		540,95	
<u>TOTAL A FACTURER</u>					8 528,76

Période : **2^{ème} trimestre 2007**

Montant de consommation journalière : **76,66** DA/jour

Date : 10/06/2007

Contribution aux couts permanents du système : **12,18** DA

CONSOMMATIONS

	Tarif	Compteur	Relevé de compteur			Coeff	consommations kWh / Thermie
			Nouveau	Ancien	différence		
PMD = 2 kW							
DMD = 5 m³h	E01	003736	50 642	49 341	1 301	1,00	1 301
	G83	001968	2 420	2 040	380	9,10	3 458

DETAIL DE FACTURATION (HT)

	Première tranche		Deuxième tranche		Troisième tranche		Prime fixe (DA)	Prix HT par tarif (DA)
	consommation	Prix unitaire DA	consommation	Prix unitaire DA	consommation	Prix unitaire DA		
Elec E01	125,00	1,779	1 176,00	4,179			52,44	5 189,32
Gaz G83	1 125,00	0,168	2 333,00	0,324			85,50	1 030,39

CALCUL DES TAXES ET RECAPITULATION

	Montant hors TVA (DA)	TVA		Montant TTC (DA)
		Taux	Montant (DA)	
Elec E01	5 189,32	7,00	363,25	5 552,57
Gaz G83	1 030,39	7,00	72,13	1 102,52
Droit fixe	100,00			100,00
Taxe habitation	75,00			75,00
Timbre	69,00			69,00
	6 463,71		435,38	
<u>TOTAL A FACTURER ®</u>				6 899,09

		Période : 3^{ème} trimestre 2007									
Montant de consommation journalière :		8,56	DA/jour								
Contribution aux couts permanents du système :		6,12	DA								
<u>CONSOUMMATIONS</u>											
PMD = 2 kW DMD = 5 m³h	Tarif	Compteur	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="3">Relevé de compteur</th> <th rowspan="2">Coeff</th> <th rowspan="2">Consommations kWh / Thermie</th> </tr> <tr> <th>Nouveau</th> <th>Ancien</th> <th>Différence</th> </tr> </table>	Relevé de compteur			Coeff	Consommations kWh / Thermie	Nouveau	Ancien	Différence
	Relevé de compteur			Coeff	Consommations kWh / Thermie						
	Nouveau	Ancien	Différence								
E01	003736		0	1,00	0						
G83	001968		0	9,10	0						

<u>DETAIL DE FACTURATION (HT)</u>								
	Première tranche		Deuxième tranche		Troisième tranche		Prime fixe (DA)	Prix HT par tari (DA)
	Consommation	Prix unitaire DA	Consommation	Prix unitaire DA	Consommation	Prix unitaire DA		
Elec E01	125,00	1,779		4,179			52,44	274,82
Gaz G83	1 125,00	0,168		0,324			85,50	274,50

<u>CALCUL DES TAXES ET RECAPITULATION</u>				
	Montant hors TVA (DA)	TVA		Montant TTC (DA)
		Taux	Montant (DA)	
Elec E01	274,82	7,00	19,24	294,05
Gaz G83	274,50	7,00	19,22	293,72
Droit fixe	100,00			100,00
Taxe habitation	75,00			75,00
Timbre	8,00			8,00
	732,32		38,45	
<u>TOTAL A FACTURER</u>				770,77

Période : **4^{ème} trimestre 2007**

Montant de consommation journalière : **4,44** DA/jour

Contribution aux couts permanents du système : **1,38** DA

CONSOMMATIONS

	Tarif	Compteur	Relevé de compteur			Coeff	Consommations kWh / Thermie
			Nouveau	Ancien	Différence		
PMD = 2 kW							
DMD = 5 m³h	E01	003736	47 806	47 806	0	1,00	0
	G83	001968	1 480	1 264	216	9,10	1 966

DETAIL DE FACTURATION (HT)

	Première tranche		Deuxième tranche		Troisième tranche		Prime fixe (DA)	Prix HT p
	Consommation	Prix unitaire DA	Consommation	Prix unitaire DA	Consommation	Prix unitaire DA		
Elec E0		1,779					52,44	
Gaz G83	1	0,168					85,50	

CALCUL DES TAXES ET RECAPITULATION

	Montant hors TVA (DA)	TVA		Montant TTC (DA)
		Taux	Montant (DA)	
Elec E01	-247,56	7,00	-17,33	-264,89
Gaz G83	546,85	7,00	38,28	585,13
Droit fixe	0,00			0,00
Taxe habitation	75,00			75,00
Timbre	4,00			4,00
	378,29		20,95	
<u>TOTAL A FACTURER</u>				399,25