REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MENTOURI DE 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……..……
Série……..……

MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de MAGISTER
OPTION : ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE

THEME

IMPACT DE L'INERTIE THERMIQUE SUR LE CONFORT HYGROTHERMIQUE ET LA CONSOMMATION ENERGETIQUE DU BATIMENT

Cas de l'habitation de l'époque coloniale à Guelma

Présentée par :

Melle MEDJELEKH DALEL

Sous la direction de :
Dr ABDOU SALIHA

Jury d'examen :

-Prof ZEROUALA Mohamed Salah	Université de Constantine	Président
-Dr BOURBIA FATIHA	Université de Constantine	Examinatrice
-Dr BOUCHAHM YASMINA	Université de Constantine	Examinatrice
-Dr ABDOU SALIHA	Université de Constantine	Rapporteur

Soutenue le 06../11/.2006

"بسم الله الرحمان الرحيم"

** وما توفيقي إلا بالله

عليه توكلت

وإليه أنيب **

سورة هود الآية ٨٨

Je dédie ce modeste travail à,

la mémoire de mon cher oncle Abdallah,

ma chère mère,

mon cher père,

mes chers frères,

mes chères sœurs,

et à tous ceux qui me sont chers.

Dalel

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à la directrice de la thèse ***Docteur Abdou Saliha****, pour son suivi, ses nombreux conseils et ses critiques constructives pour l'élaboration de ce travail.*

Mon vif remerciement à Monsieur le ***professeur Zerouala Mohamed Salah*** *pour avoir aimablement accepté de présider le jury de ce mémoire de Magister.*

Mes chaleureux remerciements et toute ma gratitude aux ***docteurs Bourbia Fatiha et Bouchahem Yasmina*** *pour avoir accepté d'être examinatrices de ce travail et pour leur encouragement.*
Ainsi que tous mes remerciements à Mme ***Bouchahem Garmia*** *pour ses précieux conseils et encouragements.*

Mes remerciements vont également à mes collègues de travail à l'institut d'architecture de Annaba : le chef de département Mr Beggas Djamel, Mr Terra Abdelkrim et Mme Naoui Nacira pour leurs utiles directives et encouragements.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance aux : chef de département Mr Bouloudroua , Mr Djorfi et Mr Sayed de l'institut de géologie à Annaba.

Je remercie mes collègues de travail à la daïra d'Héliopolis pour leur aide et encouragements.

Mes remerciements vont aussi aux membres de services techniques et administratifs de la ville de Guelma : Mr Djelailia Karim de la D.P.A.T, Mr Hadjedj Hocine des services de forêts, Mme Abdaoui de la SONELGAZ et Mr Boudjahem Noureddine du laboratoire L.T.P EST .

Je remercie Mr El Hassar Mohamed Karim de l'USTB, Université de Beb El Zouar, Alger ainsi que mon ami d'étude Mme Bellara Samira pour leur attention, et qui m'ont, tous les deux, fait alléger la lourdeur du logiciel « TRNSYS ».

Je remercie Melle Oumerzouk Assia et Mr Rahel pour leur disponibilité.

Plus intiment, je remercie mon beau frère Aouamri Halim pour son assistance, mon amie Tebbani Habiba pour ses aides et encouragements, et Mr Khlifati Djamel pour sa disponibilité incessante.

Mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de prés ou de loin pour l'accomplissement de ce travail.

SOMMAIRE

Liste des figures	…….....	VII
Liste des photos	…….	XII
Liste des tableaux	…….....	XII
Nomenclature	…….....	XIII

Introduction et problématique

	Introduction générale	1
1-	Hypothèse	4
2-	Objectifs	4
3-	Cas d'étude	5
4-	Méthodologie de recherche	5
5-	Structure de la thèse	6

Chapitre I : Consommation énergétique

	Introduction	7
I-1-	L'énergie : définition et concept	8
I-2-	La consommation mondiale de l'énergie	10
I-3-	La consommation énergétique en Algérie	14
I-3-1-	Consommation du gaz naturel en Algérie	15
I-3-2-	Consommation de l'électricité en Algérie	16
I-4-	La consommation énergétique à Guelma	17
I-4-1-	La consommation du gaz naturel	17
I-4-2-	La consommation de l'électricité	18
I-5-	Le soleil source d'énergie renouvelable	22
I-6-	Pour une architecture consciente de l'énergie	24
	Conclusion	26

Chapitre II : Climat et confort dans l'habitat

II-1-	**Climat et analyse climatique**	27
	Introduction	27
II-1-1-	Echelles de climat	27
II-1-2-	Analyse des éléments du climat	30
II-1-2-1*	L'étude de soleil	30
II-1-2*1-a-	Les radiations solaires	31
II-1-2*1-b-	Température de l'air	31
II-1-2*1-c-	L'humidité	32
II-1-2*1-d-	L'évaporation	32
II-1-2*1-e-	Les précipitations	32
II-1-2*1-f-	Le vent	33
II-1-2*1-g-	La végétation	33
II-1-3-	Classification du climat dans le monde	34

II-1-3-1*	La classification génétique des climats	34
II-1-3-2*	La classification climatique à partir des indices	36
II-1-4-	Classification du climat en Algérie	37
II-1-4-1*	Climat de Guelma	40
II-1-4-1*a-	Diagramme ombrothermique de Guelma	43
II-1-4-1*b-	Diagramme solaire de Guelma	43
II-1-4-1*c-	Diagramme en thermoisoplèthes de Guelma	46
II-1-5-	Microclimats de la ville	48
II-1-5-1*	Eléments influençant le microclimat	48
II-1-5-1*a-	Relief	48
II-1-5-1*b-	Hydrologie	49
II-1-5-1*c-	L'agriculture	50
II-1-5-1*d-	Potentialités forestières	50
II-1-5-1*e-	Les sources thermales	50
	Conclusion	52
II-2-	**Confort et analyse bioclimatique**	53
II-2-1-	Confort dans l'habitat	53
II-2-1-1*	Le confort thermique	53
II-2-1-1*a-	Echange de chaleur entre l'homme et son environnement	54
II-2-1-1*a-1/	La régulation physiologique	54
II-2-1-1*a-2/	La régulation comportementale	55
II-2-1-2*	Les outils d'évaluation du confort thermique	57
II-2-1-3*	Le confort hygrothermique	64
II-2-1-4*	Analyse bioclimatique de la ville de Guelma	65
II-2-1-4*a-	Application de la méthode de S. Szockolay	65
II-2-1-4*b-	Les tables de Mahoney	66
	Conclusion	66

<u>Chapitre III</u> : Les principes de l'inertie thermique

	Introduction	67
III-1-	Exemples d'application de l'inertie thermique dans la construction	67
III-1-1-	L'architecture troglodytique	67
III-1-2-	L'architecture massive	70
III-1-3-	L'architecture des igloos	71
III-2-	Inertie thermique: concepts et définitions	72
III-2-1-	Masse thermique et inertie thermique	72
III-3-	Rappel des grandeurs physiques fondamentales en thermique	73
III-3-1-	Notion de température	73
III-3-2 -	Définition de chaleur	73
III-3-2 -1*	Chaleur sensible	73
III-3-2 -2*	Chaleur latente	73
III-3-2 -3*	Quantité de chaleur	73
III-3-2 -4*	Flux de chaleur	73
III-3-3 -	Modes de transfert de chaleur	74
III-3-3 -1*	Conduction	74
III-3-3-2*	Convection	74
III-3-3-3*	Rayonnement	74
III-3-3-4*	Evaporation ou conduction	74
III-4-	Transfert de chaleur à travers une paroi opaque	75
III-5-	Types d'inertie	77

III-6-	Les principes de l'inertie thermique	77
III-7-	Les méthodes à quantifier la capacité du stockage thermique	77
III-7-1-	La méthode de l'admittance	79
III-7-2-	La méthode de la capacité de la chaleur diurne	81
III-8-	L'inertie thermique et les mécanismes de transfert de chaleur	82
III-8-1-	Le mécanisme du transfert de chaleur	82
III-8-2-	Le mécanisme de distribution de chaleur	83
III-8-3-	Le mécanisme de stockage de chaleur	84
III-9-	Autres Concepts en rapport avec l'inertie thermique	85
III-9-1-	La constante de temps	88
III-10-	Paramètres affectant la performance de l'inertie thermique	90
III-10-1-	Conditions du climat	90
III-10-2-	Propriétés thermiques des matériaux de construction	92
III-10-2-1*	Choix des matériaux et des isolants pour la construction	92
III-10-3-	Ventilation	93
III-10-4-	L'inertie thermique et l'isolation	96
III-10-5-	Occupation et gains de chaleur internes	97
III-10-6-	Les fenêtres	97
III-10-7-	Emplacement et distribution de l'inertie thermique	100
III-11-	L'inertie et la réglementation thermique en Algérie	103
	Discussion et conclusion	104

Chapitre IV : Efficacité de l'inertie thermique

	Introduction	105
IV-1-	Travaux expérimentaux et analytiques caractérisant la performance de l'inertie thermique en été sous différents climats	105
IV-1-1-	Expérience au nord-est saharien « Ghardaia »	105
IV-1-2-	Expérience en France	105
IV-2-	Travaux expérimentaux et analytiques caractérisant la performance de l'inertie thermique en été sous différents climats avec l'effet de la ventilation nocturne	109
IV-2-1-	Expériences en climats chauds et secs	109
IV-2-1-1*	Expérience au Khartoum	109
IV-2-1-2*	Expérience au Jaipur, en Inde	110
IV-2-1-3*	Expérience au sud de Californie	110
IV-2-2-	Expériences en climats chauds et humides	110
IV-2-2-1*	Expérience en Israel	111
IV-2-2-2*	Expérience en Australie	111
IV-2-2-3*	Expérience au sud du Brésil	113
IV-3-	Travaux expérimentaux et analytiques caractérisant la performance de l'inertie thermique en été dans le stockage de la fraîcheur nocturne	114
IV-3-1-	L'expérience de Hollmuller et al	113
IV-4-	Travaux expérimentaux et analytiques caractérisant la performance de l'inertie thermique en hiver	115
IV-5-	Travaux expérimentaux et analytiques caractérisant la performance de l'inertie thermique en hiver dans la consommation énergétique	117
IV-5-1-	Expérience à Stockholm	118
IV-6-	Paramètres généraux affectant la performance thermique du bâtiment en rapport avec l'inertie	120
IV-6-1-	L'orientation et la forme du bâtiment	121

IV-6-1-1*	Rapport de l'orientation et l'inertie thermique du bâtiment	123
IV-6-2-	La couleur	124
IV-6-2-1*	Rapport de la couleur et l'inertie thermique	124
IV-6-2-2*	La couleur du toit	127
IV-6-2-3*	L'albédo	127
IV-6-3-	Le rapport de forme : volume/surface	128
IV-6-4-	Les surfaces vitrées	128
IV-6-4-1-	Systèmes de contrôle solaire	129
IV-6-4-1*a-	L'occultation avec la végétation	130
IV-7-	Les caractéristiques de la masse thermique	132
IV-7-1-	Caractéristiques du mur externe	132
IV-7-1-1*	Le choix des matériaux pour le mur externe	133
IV-7-2-	Caractéristiques des cloisons internes	136
IV-7-3-	La façade double peau	136
IV-8-	L'inertie et l'isolation thermique	136
IV-8-1-	Epaisseur de l'isolation	138
IV-8-2-	L'isolation et l'économie d'énergie	139
IV-8-3-	L'effet des ponts thermiques	140
IV-8-4-	Le choix des matériaux isolants	141
	Conclusion	143

Chapitre V : Investigation: cas d'étude et méthodologie de travail

	Introduction	144
V-1-	Critères de choix de la ville de Guelma	144
V-2-	Critères choix de la maison de l'époque coloniale	145
V-3-	Descriptif de la maison de l'époque coloniale	147
V-4-	Programme et objectifs	162
V-4-1-	Les appareils de mesures utilisés	166
V-4-2-	Techniques de déroulement de mesures	170
V-4-2-1*	Cas du R.D.C : Période estivale	170
V-4-2-2*	Cas de l'étage : Période estivale	171
V-4-2-3*	Cas du R.D.C : Période hivernale	171
V-4-2-4*	Cas de l'étage : Période hivernale	171
V-4-2-5*	Scénarios spécifiques aux pièces testées	172
V-5-	Descriptif de la villa contemporaine	175
V-6-	Rappel des hypothèses	181
V-7-	Evaluation	181

Chapitre VI : Interprétation des résultats de l'investigation

	Introduction	182
VI-1-	Evaluation du rôle de l'inertie sur le confort hygrothermique	182
VI-1-1-	Interprétation des résultats : Période estivale en R.D.C	182
VI-1-1-1*	Etude comparative de la température moyenne intérieure et extérieure	182
VI-1-1-2*	Etude des températures moyennes surfaciques internes et externes	188
VI-1-1-3*	Etude de l'écart de température moyenne intérieure et extérieure	191
VI-1-1-4*	Etude des températures moyennes maximales, minimales intérieures et extérieures	192
VI-1-1-5*	Etude de l'humidité moyenne intérieure et extérieure	193

VI-1-1-6*	Evaluation du confort thermique	194
VI-1-2-	Interprétation des résultats : Période estivale en étage	195
VI-1-2-1*	Etude comparative de la température moyenne intérieure et extérieure	195
VI-1-2-2*	Etude de l'humidité moyenne intérieure et extérieure	198
VI-1-3-	Interprétation des résultats : Période hivernale en R.D.C	200
VI-1-3-1*	Etude comparative de la température moyenne intérieure et extérieure	200
VI-1-3-2*	Etude des températures moyennes surfaciques internes et externes	203
VI-1-3-3*	Etude de l'écart de température moyenne intérieure et extérieure	204
VI-1-3-4*	Etude des températures maximales, minimales intérieures et extérieures	205
VI-1-3-5*	Etude de l'humidité moyenne intérieure et extérieure	206
VI-1-3-6*	Evaluation du confort thermique	207
VI-1-4-	Interprétation des résultats : Période hivernale en étage	208
VI-1-4-1*	Etude comparative de la température moyenne intérieure et extérieure	208
VI-1-4-2*	Etude de l'humidité moyenne intérieure et extérieure	210
VI-2-	Evaluation de l'impact de l'inertie sur la consommation énergétique	212
VI-2-1-	Etude comparative de la consommation électrique	214
VI-2-2-	Etude comparative de la consommation du gaz naturel	216
	Conclusion	219

Chapitre VII : Simulation

	Introduction	220
VII-1-	Description du logiciel	220
VII-1-1-	Les entrées « inputs »	221
VII-1-2-	Traitement de données	221
VII-1-3-	Les sorties « outputs »	221
VII-2-	Utilisation du logiciel TRNSYS	221
VII-3-	Avantages du logiciel	224
VII-4-	Inconvénients	224
VII-5-	Les progrès actuels du TRNSYS	225
VII-6-	Déroulement de la simulation	226
VII-6-1-	Période estivale en R.D.C	227
VII-6-1-1*	Comparaison entre les températures intérieures mesurées et celles simulées par TRNSYS	227
VII-6-1-2*	Vérification des températures surfaciques calculées de l'investigation avec celles simulées par TRNSYS	228
VII-6-1-3*	Comparaison entre les humidités relatives mesurées et celles simulées par TRNSYS	229
VII-6-2-	Période estivale à l'étage	230
VII-6-2-1*	Comparaison entre les températures intérieures mesurées et celles simulées par TRNSYS	230
VII-6-2-2*	Comparaison entre les humidités relatives mesurées et celles simulées par TRNSYS	231
VII-6-3-	Période hivernale en R.D.C	232
VII-6-3-1*	Comparaison entre les températures mesurées et celles simulées par TRNSYS	232
VII-6-3-2*	Vérification des températures surfaciques calculées de l'investigation avec celles simulées par TRNSYS	233
VII-6-3-3*	Comparaison entre les humidités relatives mesurées et simulées par TRNSYS	233

VII-6-4-	Période hivernale en étage	235
VII-6-4-1*	Comparaison entre les températures mesurées et celles simulées par TRNSYS	235
VII-6-4-2*	Comparaison entre les humidités relatives mesurées et celles simulées par TRNSYS	236
VII-6-5-	Changement des paramètres	237
VII-6-5-1*	Effet du matériau	237
VII-6-5-2*	L'effet de l'épaisseur	239
VII-6-5-2* a/	L'effet de l'épaisseur de la masse thermique	239
VII-6-5-2*b/	L'effet de l'épaisseur de la masse thermique et de la lame d'air	240
VII-6-5-2*c/	L'effet de l'épaisseur de la lame d'air	242
VII-6-5-3*	L'effet de la paroi hétérogène	243
VII-6-5-4*	L'effet de l'isolant	245
VII-6-5-4*a /	L'effet de l'emplacement de l'isolant	246
VII-6-5-4*b /	L'effet de l'épaisseur de l'isolant	248
VII-6-5-5*	L'effet de la couleur	249
	Conclusion	251

Conclusion générale et recommandations

	Recommandations sur l'optimisation de l'inertie thermique en climat chaud, sub humide	257
1-	Choix du matériau	257
2-	Choix de l'épaisseur	258
3-	Choix de la paroi hétérogène	258
4-	Isolation, emplacement et épaisseur	258
5-	La couleur	258
	Axes de recherches futurs	259

Bibliographie	…….....	260
Annexes	…….....	273
Résumé en français	…….	301
Résumé en anglais	…….....	302
Résumé en arabe	…….....	303

Liste des figures :

Fig-I-1-	Organisation des contenus sur le thème de l'énergie	9
Fig-I-2-	Demande de l'énergie finale dans le cas du chauffage domestique	9
Fig-I-3-	Répartition des ressources énergétiques utilisées	10
Fig-I-4-	Perspectives d'évolution des différents usages de l'énergie: le contexte (parc résidentiel)	12
Fig-I-5-	Perspectives des émissions de CO_2 (parc résidentiel)	13
Fig-I-6-	Perspectives de consommation de l'énergie de chauffage	13
Fig-I-7-	Consommation énergétique en Algérie dans le secteur ménager	15
Fig-I-8-	Consommation du gaz naturel à Guelma : période 2000-2004	17
Fig-I-9-	Consommation d'électricité à Guelma : période 2000-2004	18
Fig-I-10-	Evolution du nombre d'abonnés en électricité et en gaz naturel à Guelma: période 2000-2005	19
Fig-I-11-	Consommation du gaz en secteur résidentiel et tertiaire à Guelma: période 2000-2004	20
Fig-I-12-	Consommation d'électricité en secteur résidentiel et tertiaire à Guelma: période 2000-2004	20
Fig-I-13-	Le soleil notre première source d'énergie	22
Fig-II-1-	Interaction entre le climat et les activités humaines	29
Fig-II-2-	Représentation graphique de la coupe transversale d'un îlot de chaleur urbain	29
Fig-II-3-	Coordonnées horizontales du soleil (azimut et hauteur)	30
Fig-II-4-	Puissance solaire reçue en hiver et en été sur les surfaces horizontales et verticales orientées sud et à l'ouest	31
Fig-II-5-	Classification climatique de V.Koppen	35
Fig-II-6-	Classification du climat dans le monde	35
Fig-II-7-	Diagrammes ombrothermiques (La période sèche est grisée)	37
Fig-II-8-	Classification du climat en Algérie	38
Fig-II-9-	Situation géographique de la ville de Guelma	40
Fig-II-10-	Interprétation des données météorologiques de Guelma: période 95-2004	42
Fig-II-11-	Diagramme ombrothermique de Guelma	43
Fig-II-12-	Diagramme frontale de Guelma : latitude 36° 28'	45
Fig-II-13-	Diagramme polaire de Guelma (présentation de la zone de surchauffe en noir)	45
Fig-II-14-	Calculatrice des températures horaires	46
Fig-II-15-	Courbes d'égales température (isopleth) par mois et en heure de Guelma	47
Fig-II-16-	Différents éléments influençant le microclimat de Guelma	48
Fig-II-17-	Répartition de la superficie agricole/SAT	50
Fig-II-18-	Enchaînement des divers phénomènes intervenant dans les caractéristiques du confort thermique	54
Fig-II-19-	Transfert thermique et thermorégulation du corps humain	55
Fig-II-20-	Diagramme bioclimatique d'Olgay	57
Fig-II-21-	Diagramme bioclimatique de Givoni	58
Fig-II-22-	Indice: PMV-PPD	59
Fig-II-23-	Température opérative optimale en fonction de l'activité et de l'habillement	60
Fig-II-24-	Exemples de courbes d'inconfort	62

Fig-II-25-	Température de confort en fonction de la température extérieure	62
Fig-II-26-	Comfort Adaptive Standard (ACS)	63
Fig-II-27-	Diagramme psychrométrique de Guelma	65
Fig-III-1-	Courbes d'amplitude des températures dans le sol en fonction de la profondeur et de l'état d'humidité de celui-ci	68
Fig-III-2-	L'architecture massive exemple:la maison iranienne	70
Fig-III-3-	Flux de chaleur	73
Fig-III-4-	Conduction thermique	74
Fig-III-5-	Convection de chaleur	74
Fig-III-6-	Transfert de chaleur à travers une paroi opaque	75
Fig-III-7-	Transfert de chaleur par conduction à travers la paroi	76
Fig-III-8-	Le déphasage et l'amplitude de l'onde incidente par une paroi homogène	79
Fig-III-9-	Effet de la forte inertie	83
Fig-III-10-	Réaction d'un local à inertie forte et d'un local à inertie faible en présence d'apports solaires	85
Fig-III-11-	Conductivité thermique	86
Fig-III-12-	Performance thermique et type de vitrage	99
Fig-III-13-	Facteur solaire pour un simple vitrage et pour un angle d'incidence donné	99
Fig-III-14-	La forte inertie du toit permet un déphasage et un amortissement important	102
Fig-IV-1-	Exemple d'évolution de la température opérative pour un logement collectif (a) et une maison individuelle (b)	106
Fig-IV-2-	Moyenne des températures opératives maximales atteintes et moyenne des variations de température opérative pour l'ensemble de l'étude paramétrique et par type d'inertie	106
Fig-IV-3-	Variation de température jour/nuit pour un jour chaud de référence: pourcentage de cas de dépassement observés par rapport à des valeurs de seuil	107
Fig-IV-4-	Exemple de parois à forte inertie thermique en maison individuelle cas du mur extérieur (en cm)	107
Fig-IV-5-	Les types d'inertie	108
Fig-IV-6-	Comparaison des températures entre les moyennes intérieure et surfacique du mur d'une pièce massive en terre, lorsqu'elle est ventilée durant toute la journée (R.No.91) et lorsqu'elle est ventilée la nuit (R.No.57)	109
Fig-IV-7-	Schéma combinatoire du calcul de la simulation thermique	112
Fig-IV-8-	Quelques résultats parmi les variantes calculées	112
Fig-IV-9-	Variation de la température interne par rapport aux limites supérieure et inférieure pour un bâtiment de lourde masse et un bâtiment de faible masse	113
Fig-IV-10-	Stratégie de ventilation et profil sur cinq jours d'été (températures de ventilation ainsi que potentiel de rafraîchissement par rapport à 26 et à 28°C	115
Fig-IV-11-	Fréquences cumulées des températures intérieures et extérieures au mois de janvier dans la Drôme - forte inertie -	116
Fig-IV-12-	Insolation et températures en décembre en logements à Villeurbanne	116
Fig-IV-13-	Evolution de la température, journée du 15 mars dans la Drôme- Forte inertie–	117
Fig-IV-14-	Les trois type de mur étudiés, de gauche à droite : le mur léger, le mur en bois, le mur massif en béton	118
Fig-IV-15-	Diagramme de la demande spécifique en énergie (KW h /m², an) du bâtiment	119

Fig-IV-16-	Variation des besoins annuels de chauffage d'une habitation en fonction de l'orientation et de la proportion de surface vitrée	122
Fig-IV-17-	Orientations favorables des pièces	123
Fig-IV-18-	Variation des besoins d'énergie en fonction des vitrages et de l'inertie	124
Fig-IV-19-	Variation de la température à l'intérieur de la cellule fermée et sans fenêtre	125
Fig-IV-20-	Variation de la température intérieure sous condition de cellule de masse thermique élevée, fermée et sans fenêtre	126
Fig-IV-21-	Variation de la température intérieure en quatre orientations sous condition de cellule de masse thermique élevée, fermée et sans fenêtre	126
Fig-IV-22-	Rapport de forme: volume/ surface	128
Fig-IV-23-	Variation du facteur solaire en fonction de l'angle d'incidence du rayonnement solaire	128
Fig-IV-24-	Les différentes possibilités d'occultation	129
Fig-IV-25-	Répartition possible de diverses plantes autour de l'habitat	130
Fig-IV-26-	Auvents végétaux	131
Fig-IV-27-	Protection des arbres	131
Fig-IV-28-	Conception idéale du mur extérieur proposé par Kuba	132
Fig-IV-29-	Exemples d'unités de maçonnerie modernes perforées fait d'argile poreuse. Leurs dimensions courantes sont: la hauteur × la longueur × la largeur 365 ×240 ×240 mm	134
Fig-IV-30-	Exemple de bloc de béton léger	135
Fig-IV-31-	Profile des températures avec ventilation de 1.7 v/h	137
Fig-IV-32-	Optimisation de l'épaisseur de l'isolant	139
Fig-IV-33-	Calcul des ponts thermique (programme Kobru 86)	140
Fig-IV-34-	La thermographie à infrarouge en bâtiment	141
Fig-IV-35-	La résistance thermique (par 5cm d'épaisseur) des matériaux isolants	142
Fig-V-1-	Compacité du centre colonial avec la présence de la végétation et places à Guelma (site d'investigation)	146
Fig-V-2-	Situation de la maison par rapport au centre ville	147
Fig-V-3-	Orientation de l'immeuble et trajectoire solaire	149
Fig-V-4-	Prospect rue	151
Fig-V-5-	Montage des moellons lit par lit laissant un vide sur toute la hauteur du mur (R.D.C et étage)	153
Fig-V-6-	Utilisation de la pierre de taille et la brique(soubassement et allège)	155
Fig-V-7-	Détail du plancher du R.D.C sur voûte au dessus de la cave	155
Fig-V-8-	Détail du plancher de l'étage	156
Fig-V-9-	Détail et vue sur la toiture en pente de l'immeuble (en tuile canal)	156
Fig-V-10-	Carte géologique de la région de Guelma	159
Fig-V-11-	Plan de sous-sol	163
Fig-V-12-	Plan R.D.C (chambre N°1 : pièce d'investigation)	164
Fig-V-13-	Plan étage (chambre N°2 : pièce d'investigation)	165
Fig-V-14-	Plan de toiture	166
Fig-V-15-	Le thermo- hygromètre	167
Fig-V-16-	Points de prise de température et d'humidité dans les pièces testées	169
Fig-V-17-	Transfert de chaleur par conduction à travers la paroi et par convection d'air par la porte	173
Fig-V-18-	Transfert de chaleur par convection d'air par la porte	174
Fig-V-19-	Situation et orientation de la villa	176
Fig-V-20-	Vue de face de la villa : nord-est (coté rue)	176
Fig-V-21-	Plan R.D.C	177

Fig-V-22-	Plan étage	178
Fig-V-23-	Plan terrasse	179
Fig-V-24-	Coupes transversale et longitudinale sur la villa	180
Fig-VI-1-	Variation horaire de la température moyenne intérieure et extérieure	182
Fig-VI-2-	L'épaisseur du mur extérieur	185
Fig-VI-3-	Schéma de ventilation du R.D.C	186
Fig-VI-4-	Variation horaire de la température intérieure et extérieure de la journée type du 19/08/2004	187
Fig-VI-5-	Variation de température moyenne intérieure et extérieure et la température moyenne surfacique interne et externe du mur (56cm)	188
Fig-VI-6-	Tracé du gradient thermique au niveau de la paroi extérieure (56cm)	189
Fig-VI-7-	Variation de température moyenne intérieure et extérieure, et moyenne surfacique interne et externe au niveau de l'allège (40cm)	190
Fig-VI-8-	Ecart de températures moyennes horaires intérieures et extérieurs	191
Fig-VI-9-	Variation des températures moyennes maximales, minimales intérieures et extérieures des jours d'investigation	192
Fig-VI-10-	Variation de l'humidité relative moyenne intérieure et extérieure	193
Fig-VI-11-	Comparaison de la température moyenne intérieure et les limites de confort période estivale	194
Fig-VI-12-	Variation horaire de la température moyenne intérieure et extérieure	196
Fig-VI-13-	Variation horaire de la température moyenne intérieure en R.D.C et la température moyenne intérieure en étage	197
Fig-VI-14-	Schéma de ventilation en étage	198
Fig-VI-15-	Variation de l'humidité relative moyenne intérieure et extérieure en étage	199
Fig-VI-16-	Variation horaire de l'humidité relative moyenne intérieure en R.D.C et l'humidité relative moyenne intérieure en étage	200
Fig-VI-17-	Variation horaire de la température moyenne intérieure et extérieure : période hivernale cas du R.D.C	201
Fig-VI-18-	Variation de température moyenne intérieure et extérieure et la température moyenne surfacique interne et externe du mur (56cm)	203
Fig-VI-19-	Ecart de températures moyennes intérieures et extérieures	204
Fig-VI-20-	Variation des températures maximales, minimales intérieures et extérieures des jours d'investigation	205
Fig-VI-21-	Variation de l'humidité relative moyenne intérieure et extérieure : période hivernale en R.D.C	206
Fig-VI-22-	Comparaison de la température moyenne intérieure et les limites de confort : période estivale	207
Fig-VI-23-	Variation horaire de la température moyenne intérieure et extérieure (cas d'étage): période hivernale	208
Fig-VI-24-	Variation horaire de la température moyenne intérieure en R.D.C et la température moyenne intérieure en étage: période hivernale	209
Fig-VI-25-	Variation de l'humidité relative moyenne intérieure et extérieure en étage: période hivernale	210
Fig-VI-26-	Variation horaire de l'humidité relative moyenne intérieure en R.D.C et l'humidité moyenne intérieure en étage: période hivernale	211
Fig-VI-27-	Consommation de l'électricité des trois maisons sur une période de dix trimestres	214
Fig-VI-28-	Consommation de l'électricité de la maison Rahel et la maison Medjelekh additionnée à la maison Oumerzoug	215
Fig-VI-29	Consommation du gaz des trois maisons sur une période de dix trimestres	216
Fig-VI-30-	Consommation du gaz de la maison Rahel et la maison Medjelekh	218

	additionnée à la maison Oumerzoug	
Fig-VII-1-	Ecran de control du logiciel TRNSYS sous MS-DOS	220
Fig-VII-2-	Fichiers nécessaires au lancement de la simulation	222
Fig-VII-3-	Définition du type	222
Fig-VII-4-	Les masques dans TRNSYS avec angles calculés	223
Fig-VII-5-	Charte psychrométrique fournie par TRNSYS	224
Fig-VII-6-	Couplage avec des outils de vision initial	225
Fig-VII-7-	Comparaison des températures moyennes intérieures et extérieures mesurées et les températures intérieures simulées en R.D.C: période été, journée 18/08/2004	227
Fig-VII-8-	Vérification des températures moyennes surfaciques internes et externes calculées de l'investigation avec les températures surfaciques internes et externes simulées: période été, journée 18/08/2004	228
Fig-VII-9-	Comparaison entre les humidités relatives moyennes intérieures mesurées et les humidités relatives intérieures simulées en R.D.C: période été, journée 18/08/2004	229
Fig-VII-10-	Comparaison des températures moyennes intérieures et extérieures mesurées et les températures intérieures simulées à l'étage: période été, journée 18/08/2004	230
Fig-VII-11-	Comparaison entre les humidités relatives moyennes intérieures mesurées et les humidités relatives intérieures simulées à l'étage période été, journée 18/08/2004	231
Fig-VII-12-	Comparaison des températures moyennes intérieures et extérieures mesurées et les températures intérieures simulées en R.D.C: période hiver, journée 29/01/2005	232
Fig-VII-13-	Vérification des températures moyennes surfaciques internes et externes calculées de l'investigation avec les températures surfaciques internes et externes simulées: période hiver, journée 31/01/2005	233
Fig-VII-14-	Comparaison entre les humidités relatives moyennes intérieures mesurées et les humidités relatives intérieures simulées en R.D.C: période hiver, journée 29/01/2005	234
Fig-VII-15-	Comparaison des températures moyennes intérieures et extérieures mesurées et les températures intérieures simulées en étage: période hiver, journée 29/01/2005	235
Fig-VII-16-	Comparaison entre les humidités relatives moyennes intérieures mesurées et les humidités relatives intérieures simulées à l'étage: période hiver, journée 29/01/2005	236
Fig-VII-17-	Configuration de la paroi extérieure : cas des trois matériaux pour une épaisseur totale de 56cm	237
Fig-VII-18-	Variation de la température intérieure simulée en changeant le matériau de la paroi extérieure	238
Fig-VII-19-	Les épaisseurs testées de la paroi extérieure	239
Fig-VII-20-	Variation de la température intérieure simulée en changeant l'épaisseur de la paroi extérieure	240
Fig-VII-21-	Les épaisseurs testées de la lame d'air et de la masse thermique pour une paroi extérieure de 30cm	241
Fig-VII-22-	Variation de la température intérieure simulée en changeant l'épaisseur de la lame d'air et l'épaisseur de la masse thermique de la paroi extérieure	241
Fig-VII-23-	Epaisseurs testées de la lame d'air pour une paroi extérieure de 30, 32 et 34cm	242
Fig-VII-24-	Variation de la température intérieure simulée en changeant l'épaisseur de	243

	la lame d'air de la paroi extérieure	
Fig-VII-25-	Configuration de la paroi extérieure: cas de paroi homogène et hétérogène pour une épaisseur totale de 30cm	244
Fig-VII-26-	Variation de la température intérieure simulée: cas de paroi homogène et hétérogène pour une épaisseur totale de 30cm	244
Fig-VII-27-	Introduction d'un isolant (feutre) dans la lame d'air	245
Fig-VII-28-	Variation de la température intérieure: cas de la lame d'air et cas de l'isolant	246
Fig-VII-29-	Les trois emplacements de l'isolant dans la paroi externe	247
Fig-VII-30-	Variation de la température intérieure simulée avec le changement de l'emplacement de l'isolant	247
Fig-VII-31-	Les trois épaisseurs de l'isolant testées	248
Fig-VII-32-	Variation de la température intérieure simulée avec le changement de l'épaisseur de l'isolant	249
Fig-VII-33-	- Variation de la température intérieure simulée avec le changement de la couleur de surface de la paroi externe	250

Liste des photos

Photo-II-1-	Barrage de Bouhamdene	49
Photo-II-2-	Barrage de Medjaz El Bgar	49
Photo-II-3-	Périmètre irrigué (Belkhir)	50
Photo-II-4-	Forêt de Beni Salah	51
Photo-II-5-	La montagne de Mahouna	51
Photo-II-6-	La cascade "thermale" de hammam Debagh	51
Photo-III-1-	Cliff Palace, Mesa Verde National Park (États-Unis)	69
Photo-III-2-	L'architecture troglodytique « Matmata » en Tunisie	69
Photo-III-3-	Usage de matériaux locaux (la pierre) au Yémen	70
Photo-III-4-	L'architecture massive en climat tempéré à froid : exemple de la France	71
Photo-III-5-	Architecture de l'igloo	71
Photo-V-1-	Jardin de la ville (site d'investigation)	146
Photo-V-2-	Vue aérienne sur le centre colonial à Guelma (présence des cours)	147
Photo-V-3-	Façade sud-ouest (d'entrée coté rue)	148
Photo-V-4-	Façade nord-est (d'entrée coté cour)	148
Photo-V-5-	Vue sur la cour	148
Photo-V-6-	Traitement et couleur de la façade sud-ouest (coté rue)	150
Photo-V-7-	Le bâtiment du trésor avec le jardin en face de l'immeuble échantillon	151
Photo-V-8-	Montage du mur de cave en trois lits	153
Photo-V-9-	Appareillage de la pierre laisse apparaître des interstices sur toute la largeur du mur (cave)	154
Photo-V-10-	Echantillon du travertin prélevé du mur de cave (présence des vacuoles)	157
Photo-V-11-	Effectuation des analyses au niveau du laboratoire L.T.P EST	160
Photo-V-12-	Cage d'escalier menant à l'étage supérieur	162
Photo-V-13-	Les appareils de mesures utilisés	167
Photo-V-14-	La centrale météo et le thermomètre émetteur	168
Photo-V-15-	Aménagement de la pièce testée en R.D.C	173
Photo-V-16-	Aménagement de la pièce testée en étage	174

Liste des tableaux:

Tableau-I-1-	Evolution de l'activité gazière en Algérie	15
Tableau-I-2-	Evolution de la consommation électrique en Algérie	16
Tableau-II-1-	Echelles de climat	28
Tableau-II-2-	Indices de Martonne	36
Tableau-II-3-	Les zones climatiques d'Algérie	39
Tableau-II-4-	Hauteur et azimut du soleil à « Guelma latitude 36°.28' »	44
Tableau-II-5-	Résumé de données produisant les zones du confort	57
Tableau-V-1-	Récapitulatif des caractéristiques de la villa contemporaine	175
Tableau-VI-1-	Nombre et types d'appareils utilisés	213

Nomenclature

q	:	flux de chaleur total	W / m²
Q	:	flux de chaleur total	W / m²
te	:	température air extérieur	°C
θe	:	température paroi extérieure	°C
θn	:	température intérieur paroi	°C
θi	:	température paroi intérieure	°C
ti	:	température air intérieur	°C
tsi	:	température surfacique interne	°C
tse	:	température surfacique externe	°C
Tr	:	température résultante	°C
top	:	température opérative	°C
tsud	:	température de sudation	°C
TMR	:	température moyenne radiante	°C
Φ	:	Déphasage	s
a	:	diffusivité thermique	m²/s
e	:	épaisseur	m
Y	:	admittance	W/m² °C
λ	:	conductivité thermique	W/ m°C
ρ	:	masse volumique	Kg/m³
c	:	chaleur massique	Wh/Kg°C
DHC	:	« Diurnal Heat Capacity » la capacité de la chaleur diurne	Wh / °C
r	:	résistance thermique	m² °C/ W

R	:	résistance thermique totale	m² °C/ W
c	:	conductance thermique	W/m² °C
K	:	conductance totale ou coefficient de transmission thermique	W/m² °C
1/hi	:	coefficient de la surface interne de la paroi	W/m² °C
1/he	:	coefficient de la surface externe de la paroi	W/m² °C
hi	:	résistance thermique de la couche d'air interne	m² °C/ W
he	:	résistance thermique de la couche d'air externe	m² °C/ W
HCT	:	capacité thermique total	J/m³°C ou kwh/m³°C
α	:	diffusivité thermique	m²/s
t	:	constante de temps	h
b	:	effusivité thermique d'un matériau	$Ws^{0.5}$/ m² °C
bmoy	:	effusivité thermique moyenne	$Ws^{0.5}$/ m² °C
bi	:	effusivité thermique de chaque surface interne	$Ws^{0.5}$/ m² °C
si	:	somme des surfaces	m²
Stot	:	surface totale	m²
Fs	:	facteur solaire	%

*** Unités utilisées par le logiciel TRNSYS :**

Temps	:	En heure (h)
Longueur	:	En mètre (m)
Surface	:	En mètre carré (m²)
Volume	:	En mètre cube (m³)
Masse	:	En Kilo joule (Kg)
Température	:	En degré Celsius (°C)
Chaleur spécifique	:	En Kilo joule par kilo gramme degré Celsius (Kj/ Kg °C)
Conductivité thermique	:	En Kilo joule par heure mètre degré Celsius (Kj /h m°C)

Introduction & problématique

Introduction générale:

Le développement qu'ont connu les pays du tiers monde, engendre l'importation de modèles d'urbanisme et d'architecture internationaux. Ce-ci exalte la négligence des modèles locaux, qui semblent mieux adaptés aux contraintes climatiques et sociales.

Les constructions en masse, de cet urbanisme importé se servent de matériaux et de prototypes préétablis avec un usage largement répandu de vitrages dans les façades. Ce dernier entraîne une considérable évolution des rapports entre les ambiances internes et le climat externe. Alors, des problèmes de surchauffe s'y poseront avec plus d'acuité même dans les régions tempérées et froides.[1] En hiver c'est plutôt la structure de faible poids de l'architecture moderne qui pose le problème de pertes de chaleur et la protection du froid. L'isolation du bâtiment comme solution peut altérer la santé de l'utilisateur. Surtout que la diminution du renouvellement d'air intérieur s'aggrave par les tentations du calfeutrement. Les risques pour la santé de la dégradation de la qualité de l'air des bâtiments sont nombreux et maintenant reconnus.[2]

En réponse, l'utilisation intense des moyens mécaniques de régulation thermique dans les constructions modernes s'avère utile pour réaliser des microclimats favorables. Mais « *la confiance aveugle que les architectes ont voué à la société technologique a eu pour résultat la production d'une architecture qui consomme le maximum d'énergie. On a donc cru pouvoir résoudre des problèmes de confort thermique par la constitution de micro climats artificiels* »[3]. Ainsi la problématique du confort intérieur s'y trouve atrophiée au nom de la modernité contemporaine. J. M. Alexandroff rappelle qu'avec l'introduction des énergies non naturelles, l'habitat perdit de son influence dans le processus énergétique. La technique consomme de l'énergie et sa consommation peut se révéler très coûteuse. D'autre part elle pollue l'air par l'émission du CO_2. Par exemple, l'usage de fluides chlorofluorocarbonés dans les climatiseurs conduit à des problèmes environnementaux eus égard à l'impact sur la couche d'ozone.

Comptabilisée en chiffres, la consommation énergétique en Europe dans le secteur bâtiment représente 40.7 % de la consommation globale. Le chauffage des locaux représente la plus grosse consommation d'énergie pour les ménages des états membres 57%, suivi par la production d'eau chaude sanitaire 25%.[4]

---

[1] GIVONI. Baruch, _ *L'homme, l'architecture et le climat*, _ Paris: Edition LE MONITEUR, 1978, p 249.
[2] DEOUX. Suzane et Pierre, _ *Le guide de l'habitat sain*,_ Andorra: EDITION MEDIECO, Avril 2002, p211
[3] ALEXANDROFF. J. M, _ *Du bon usage de l'énergie*, _Techniques et architecture N°315 Juin –Juillet, 1977
[4] Rapport de la CEE : proposition de directive du parlement européen et du conseil sur la performance énergétique des bâtiments, Bruxelles le 11/05/2001.

En Algérie le secteur résidentiel et tertiaire se trouve parmi les secteurs les plus énergivores, avec une consommation de 7 MTep[*], représentant 46% de l'énergie finale et de 28% de l'énergie primaire.[5]

Rappelant que la problématique de l'économie d'énergie ne s'est remise en question qu'en 1973, date du premier choc pétrolier et le début de la crise énergétique. Depuis, elle est devenue un discours politique et un enjeu économique dans tous les pays. Surtout que l'amélioration de la consommation énergétique finale d'un point par an (1%) induira une économie dépassant 55 Mtep sur la consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment. De plus, ce-ci revient à éviter 100 millions de tonnes d'émission du CO_2 par an, soit 20% de l'engagement pris par l'UE à Kyoto.[6]

Les tentations des concepteurs pour créer des ambiances intérieures confortables dans cette optique se matérialisent par l'apparition de nouveaux vocabulaires et concepts. Changés au gré de modes : l'architecture climatique, solaire, bioclimatique, etc, reposent tous en réalité sur la réappropriation de principes anciens délaissés au nom de la technologie.[7]

Ces nouveaux concepts qui aujourd'hui, prennent une nouvelle dimension d'économie d'énergie et de rentabilité, tentent de s'intégrer dans une démarche plus généreuse liée à la notion globale d'éco- bâtiment. Le pari de maîtriser naturellement les conforts d'été et d'hiver, en privilégiant des solutions simples et de bon sens. La meilleure orientation, l'utilisation de certains matériaux, la prise en compte de l'environnement, la végétation… etc, sont autant de mesures simples mises en œuvre pour une cohérence globale du projet.

L'architecture bioclimatique « *cette expression vise principalement l'amélioration du confort qu'un espace bâti peut induire de manière naturelle c'est à dire en minimisant le recours aux énergies non renouvelables, les effets pervers sur le milieu naturel et les coûts d'investissement et de fonctionnement. L'intérêt du bioclimatique va donc du plaisir d'habiter ou d'utiliser un espace à l'économie de la construction, ce qui en fait un élément fondamental de l'art de l'architecture* ».[8] Avec l'objectif de réduire les nuisances en réduisant à la base les besoins énergétiques du bâtiment, la conception bioclimatique qui suit

[*] Mtep: unité énergétique (Million équivalent pétrole)

[5] Rapport de Sonatrach : société nationale d'hydrocarbure, _ In « *Etude des performances énergétiques d'une conception bioclimatique en région aride* » 2004, __ Institut de Génie Mécanique Batna.

[6] KZEOUI. H, et al R, __ *Utilisation couplée de l'énergie solaire et des matériaux locaux dans le bâtiment* , LTMGP, Université de Béjaia, Algérie, LEPTAB, Université de la Rochelle, France, Février 2002.

[7] ABDOU. Saliha, _*Investigation sur l'intégration climatique dans l'habitation traditionnelle en régions arides et semi arides d'Algérie: Cas du Ksar de Ouargla et de la médina de Constantine*._ Thèse de doctorat U:Cons 2004

[8] CHATELET. A, FERNANDEZ. P et LAVIGNE. P, __ *Architecture climatique une contribution au développement durable Tomme 2 : Concepts et dispositif,* __ Aix-en-Provence: EDISUD, 1998, p10.

une stratégie de prévention s'avère à l'usage la moins coûteuse. Une mauvaise conception thermique induit un surdimensionnement des équipements et une surconsommation d'énergie, ce qui a un coût financier et environnemental.

Le confort thermique visé à l'intérieur des constructions est en fait une principale exigence de l'épanouissement morale et physique de l'individu. Jean-François BATTOUE, responsable du marché maison individuelle, DMS, Gaz de France, souligne en préambule que le confort est une qualité de vie et un bien-être, tout au long de l'année. Le logement doit respirer, sachant que les notions (comme la chaleur homogène parfaitement régulée) restent essentielles. Le confort, associé à la compétitivité, la modernité, la maîtrise de l'énergie et le respect de l'environnement, sont de véritables valeurs.

Le confort hygrothermique, notion plus précise du confort suscité, se caractérise par la sensation que ressent une personne par rapport à la température et à l'humidité ambiante du local où elle se trouve. [9]

Les constructions doivent donc réaliser à l'intérieur des microclimats propices à l'épanouissement de la personne humaine, avec la création des ambiances hygrothermiques favorables à son être. Cela est possible en établissant essentiellement une relation intelligente qui repose sur la bonne compréhension des mécanismes et des échanges thermiques entre le dedans et le dehors. L'inertie des bâtiments, sujet de notre propos et base technique du bioclimatisme est derrière cette intelligente relation. C'est un procédé passif lié aux matériaux et à la manière dont est constituée la paroi. Les principales notions physiques des matériaux regroupées derrière le terme d'inertie thermique participent au bon rendement, à la bonne utilisation et au confort de la machine thermique (l'habitat). Ce ci nous emmène en fait à poser la question:

Quel est le rôle de l'inertie et son impact réel sur le confort hygrothermique et la consommation de l'énergie dans les bâtiments ?

Le rôle de l'architecte et du thermicien est de pouvoir concilier entre les exigences de l'usager et de son environnement, les éléments de la construction doivent réaliser un microclimat confortable en s'opposant aux sévérités climatiques. Cependant la présente étude pose le problème de la conception non étudiée de l'enveloppe (l'inertie) des maisons du point de vue dimensionnement (épaisseur) et le choix inadapté des matériaux de

[9] GAUZIN-MULLER. Dominique, *L'architecture écologique*, Paris: Edition LE MONITEUR, Novembre 2002, p 270.

construction utilisés, sous nos climats. Surtout que ces derniers conduisent à l'inconfort et par conséquent à la consommation irrationnelle de l'énergie (électricité, gaz).
Confronté à ce problème, nous sommes tenus de répondre à des impératifs économiques et de confort. La solution consiste à assurer un niveau de confort hygrothermique acceptable avec une consommation énergétique minimum. Il en résulte les hypothèses et les objectifs suivants:

1-<u>Hypothèses</u>

En fait le choix des matériaux de construction, joue un rôle important dans le confort des locaux. L'inertie thermique d'un matériau est une fonction directe de sa capacité thermique qui agit concrètement, c'est à dire qu'elle tente de s'opposer à toutes les variations brutales de température. Mais comme un amortisseur qui réduit et retarde l'effet des conditions extérieures (déphasage) c'est aussi un grand absorbeur d'énergie. [10] Cette stratégie de conception est particulièrement adaptée au climat où la différence de température entre le jour et la nuit est importante. Alors l'hypothèse principale envisagée relève d'une conviction que:

l'inertie thermique améliore le confort hygrothermique en hiver comme en été, et c'est aussi une source d'économie d'énergie.

L'hypothèse secondaire aussi considérée, c'est que :

grâce à l'inertie thermique de son enveloppe, la maison de l'époque coloniale offre un environnement intérieur agréable et propice.

2- <u>Objectifs</u>

Dans le but de développer les travaux ayant trait à la réglementation technique relative à la consommation de l'énergie du bâtiment, à la promotion de la recherche et le développement dans le domaine de l'efficacité énergétique, la démarche vise plusieurs fins qu'il est possible de les résumer ainsi :

1* la détermination des épaisseurs idéales de la masse thermique assurant le confort des utilisateurs ;

2* le meilleur choix des matériaux de construction utiles pour la masse thermique ;

3* l'exploitation optimale de l'énergie solaire et l'adoption des solutions passives pour limiter au minimum le recours à l'énergie d'appoint.

[10]SIDLER Olivier, directeur de la Sté ENERTECH, __ *L'inertie thermique en climat méditerranéen. Confort et consommations d'énergie,* __ Montpellier : Colloque le 15/05/2003

Sous forme de recommandations quantifiées, les objectifs visés qui influent sur le confort thermique seront établis dans le cadre de l'enrichissement d'une réglementation thermique en secteur du bâtiment en Algérie.

3- Cas d'étude

Le choix de la ville de Guelma porte surtout pour les caractéristiques conflictuelles de son climat, lesquelles marquent presque la totalité des climats locaux algériens. Le climat qui semble jouer un rôle déterminant dans la définition de la forme du bâti. Il détermine les caractéristiques thermiques du bâtiment, il intervient au côté d'autres facteurs aussi importants tels que le social, le culturel, et l'économique. Le travail projeté dans ce cadre va s'articuler autour de l'étude des aspects climatiques, microclimatiques et bioclimatiques de la région d'étude. L'évaluation du rôle de l'inertie et de son impact sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment sera appliquée sur l'habitat de l'époque coloniale, dans un climat chaud et sub-humide en été, froid et pluvieux en hiver de la ville de Guelma.

L'habitat de l'époque coloniale est un modèle installé avec l'occupation française, s'est propagé dans toute l'Algérie. C'est l'un des modèles traditionnels qui permettaient la performance thermique, manifestant à travers son existence l'adaptation à la rugosité du climat, et en offrant un environnement intérieur bien apprécié par ses usagers. Afin de confirmer ces constatations, une appréciation qualitative sommaire du point de vue socioculturel et une appréciation quantitative seront portées à l'égard d'une maison de l'époque coloniale. On se servant principalement de l'observation en situation, l'exposition des caractéristiques morpho technologiques de ses composants permet de vérifier les hypothèses envisagées.

4- **Méthodologie et techniques de recherche**

Cette recherche présente donc une opportunité d'évaluer les performances des techniques passives, sous les conditions climatiques de Guelma. Son côté technique et son approche de rendement thermique ne doivent pas faire oublier qu'aujourd'hui le confort est une notion importante qui se traduit par la mise en valeur de critères liés au cycle de vie du bâtiment et des matériaux.

A fin d'atteindre l'objectif essentiel qui consiste à évaluer le rôle de l'inertie sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique dans le bâtiment, nous avons eu recours à l'usage de deux outils de recherche « l'investigation » avec les mesures in situ à l'aide d'instrumentation et « la simulation » à l'aide d'un logiciel informatique.

Pour l'étude climatique, microclimatique et bioclimatique de la région d'étude, la recherche se servira de l'interprétation des données météorologiques de la région, paramètres influençant son microclimat et des techniques usuelles (diagrammes bioclimatiques). Ce-ci permet de déterminer les caractéristiques de son climat, d'évaluer les besoins en confort thermique et de spécifier les stratégies à adopter dans le bâtiment sous un tel climat.

Dans l'investigation pour l'étude du problème, l'évaluation du comportement thermique de l'inertie sera établie sous deux aspects distincts :

- le premier concerne son rôle sur le confort hygrothermique estival et hivernal.
- le second insiste plutôt sur son impact sur la consommation énergétique.

Dans le premier, l'interprétation des prises de températures et d'humidités à l'intérieur de la maison de l'époque coloniale sera effectuée en deux périodes, hivernale et estivale (périodes décelées de l'étude climatique). Cette interprétation fera ressortir les paramètres qui génèrent le rôle de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique intérieur. Pour le second, une villa contemporaine, deuxième échantillon, choisi en comparaison pour évaluer la consommation énergétique. La comparaison concernera l'étude des factures de gaz et de l'électricité des deux maisons.

Une simulation à l'aide d'un logiciel informatique TRNSYS (version 14.1) permettra de valider les résultats de l'investigation. La simulation se limitera à quantifier la température ambiante, l'humidité et vérifie les températures surfaciques internes et externes des espaces testés. La variation des paramètres comme l'épaisseur, le matériau et l'isolant donneront l'épaisseur recommandée et le matériau type à utiliser dans les bâtiments.

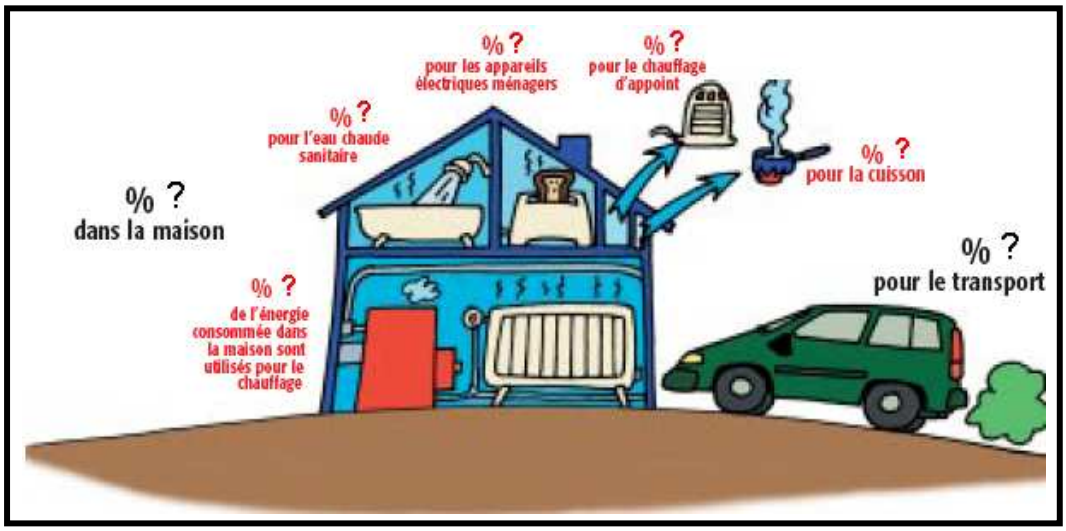
La synthèse des résultats sera présentée éventuellement sous forme de documents écrits en recommandations générales.

5- <u>Structure de la thèse</u> :

Selon la méthodologie exposée, la recherche se composera de la problématique, du support théorique, de la partie analyse et de la conclusion. Le premier chapitre sur la consommation énergétique. La partie du support théorique, en trois chapitres exposera les concepts et les recherches précédentes sur les quels sera basé le travail. La partie analyse sera constituée de trois chapitres. Chapitre V sur l'investigation avec la présentation du cas d'étude et la méthodologie de travail sur terrain. Le chapitre VI concernera l'interprétation des résultats de l'investigation. Le chapitre VII fera l'objet de la simulation. Enfin la conclusion sera sous forme de recommandations.

Chapitre I:

Consommation énergétique



Introduction et problématique énergétique

Si le thème de l'énergie occupe aussi abondamment les débats économiques et politiques, c'est qu'il s'agit d'un produit vital. L'énergie rend des services à l'activité humaine sous différentes formes notamment mécanique, thermique, chimique, électrique, rayonnante et nucléaire permettant chacune des utilisations différentes. Elle a une telle place dans nos préoccupations et aucune société ne peut s'en passer. Considérée comme un bien social, l'énergie est partout nous entoure et nous fait vivre, contribuant à notre bien être.

Or, la consommation intensive de l'énergie en combustibles fossiles pose divers problèmes, surtout que son approvisionnement est inégalement réparti à l'échelon planétaire et dont les réserves sont bien limitées. D'une part la concentration de près plus de la moitié des réserves mondiales de pétrole au proche orient est une menace permanente pour la paix dans cette région. D'autre part l'emploi de combustibles fossiles est la principale activité humaine la plus responsable de la concentration accrue de gaz carbonique dans l'atmosphère et aussi, et par conséquent de l'effet de serre. Il engendre en outre, l'émission de polluants tel que le SO_2 et les NO_3 qui menacent la santé publique.

Une partie considérable de cette atteinte à l'environnement est liée aux bâtiments et à leur construction. Mendler et Odell affirment que « *les bâtiments et la construction contribuent directement et indirectement à nos grands problèmes environnementaux. Les bâtiments sont des terribles consommateurs et générateurs de déchets, et le processus industriel utilisé dans la manufacture des matériaux des bâtiments et des équipements contribue aussi aux déchets et à la pollution* »[1]. Plus précisément, se sont les conditions de confort intérieur (chauffage à gaz, climatisation), qui sont à l'origine du problème. Surtout que l'architecture du 20ème S a eu tendance de céder toutes ses valeurs au détriment de la haute technologie, en négligeant la fonction d'offrir naturellement un microclimat intérieur plus agréable et plus confortable[2]. Selon Peter Busby approximativement 40% de l'énergie mondiale est pour le rafraîchissement, le chauffage et l'alimentation en électricité des bâtiments.[3]

L'aménagement urbain de son coté en jouant sur le bâtiment lui-même, son environnement immédiat, la densité des groupements et la localisation des fonctions est

[1] MENDLER. Sandra and ODELL. William, __ *The HOK Guidebook to Sustainable design*, _ New York: John Wiley & Sons, 2000, p2.
[2]ABDOU.S et BOUMAZA.M, __ *Investigation sur l'intégration climatique dans la maison traditionnelle du Ksar de Ouargla*, __ Revue science et technologie, revue semestrielle de l'université Mentouri: Constantine N°21, 2004.
[3] BUSBY.Peter, ___ *Sustainable design fundamentals for building*,__ Canada : Beauregard Printers, 2001, p1.

théoriquement en mesure de jouer un rôle dans la détermination des consommations énergétiques urbaines.[4]

Bien que la réduction des besoins de chauffage et de rafraîchissement dans les bâtiments due à l'amélioration des performances de l'enveloppe, rend de plus en plus judicieux l'utilisation des énergies renouvelables et la présence complémentaire d'une régulation fine. Comme souligne André Pouget qui dirige un bureau d'étude thermique à Paris: « *L'importance c'est l'énergie que l'on consomme pas* »[5].

Les énergies renouvelables ont un potentiel suffisant pour répondre aux besoins de l'humanité. La consommation annuelle d'énergie dans le monde entier équivaut au rayonnement émis par le soleil en l'espace de quarante cinq minute. L'exploitation de cette énergie est possible en convertissant directement le rayonnement solaire en chaleur ou en électricité, ou bien faire appel à l'énergie éolienne, thermo- océanique, hydraulique ou tirée de la biomasse, y compris la biotechnologie. Il faut noter que les énergies renouvelables ont moins d'impact sur l'environnement et la santé de l'homme. Elles n'entraînent pas de problèmes de déchets ou d'accident de réacteurs et ne produisent pas de gaz nocifs pour l'atmosphère. [6]

Alors la politique énergétique doit être liée à la politique de l'environnement et par conséquent à la conservation de l'énergie. L'exploitation rationnelle et le remplacement progressif des sources d'énergie traditionnelles par des énergies renouvelables doivent figurer parmi les buts de toute politique énergétique viable.

Le présent chapitre expose la problématique de la consommation énergétique dans le bâtiment et les recherches actuelles menées à son sujet.

I-1- L'énergie : définition et concept :

Capacité d'un système à produire un travail. L'énergie est l'un des quatre concepts prédéfinis de la physique, avec la matière, l'espace et le temps.

Selon Depecker, le concept de l'énergie peut s'introduire dans l'architecture à travers deux thèmes principaux :

* le coût énergétique « initial » de l'ouvrage se forme à partir du coût énergétique des matériaux utilisés, et du coût de la construction ;
* le coût énergétique « vécu » de l'ouvrage qui correspond à la consommation en chauffage ou climatisation, éclairage et alimentation. Ceci est démontré dans la Fig-I-1- ci-après:

[4] SALR. C, __ *Conception des formes urbaines et contrôle énergétiques*, __ Actes du colloque Nantes 25/26 Avril 1986, p112.
[5] Les cahiers techniques du bâtiment N° 240 Février 2004, p43.
[6] D'après la Résolution 974 année 1991 relative aux sources d'énergies renouvelables et à l'hydrogène solaire.

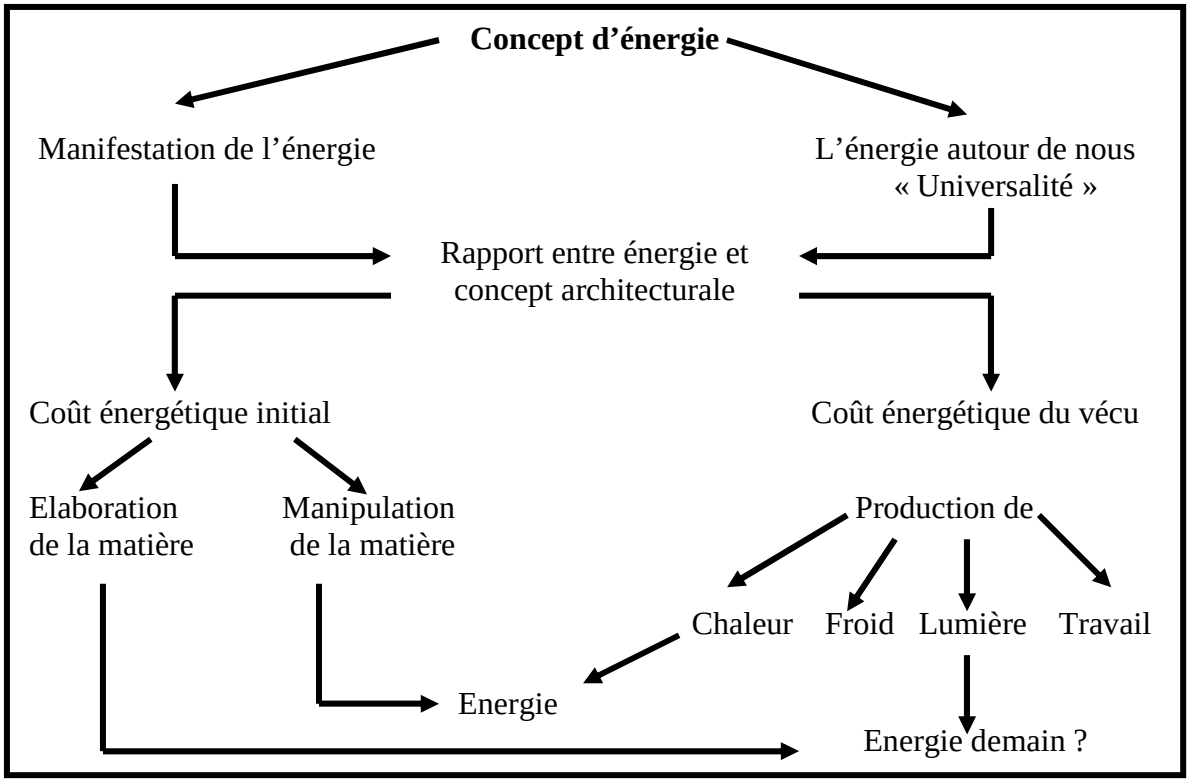


Fig-I-1- Organisation des contenus sur le thème de l'énergie (Source: P. Depecker, 1985)

Le besoin de l'énergie en chaleur dans les bâtiments se traduit par une demande d'électricité, du fuel-oil ou de gaz. Selon B.Chateau et B. Lapillonne cette demande peut être schématisée ainsi Fig-I-2-[7] :

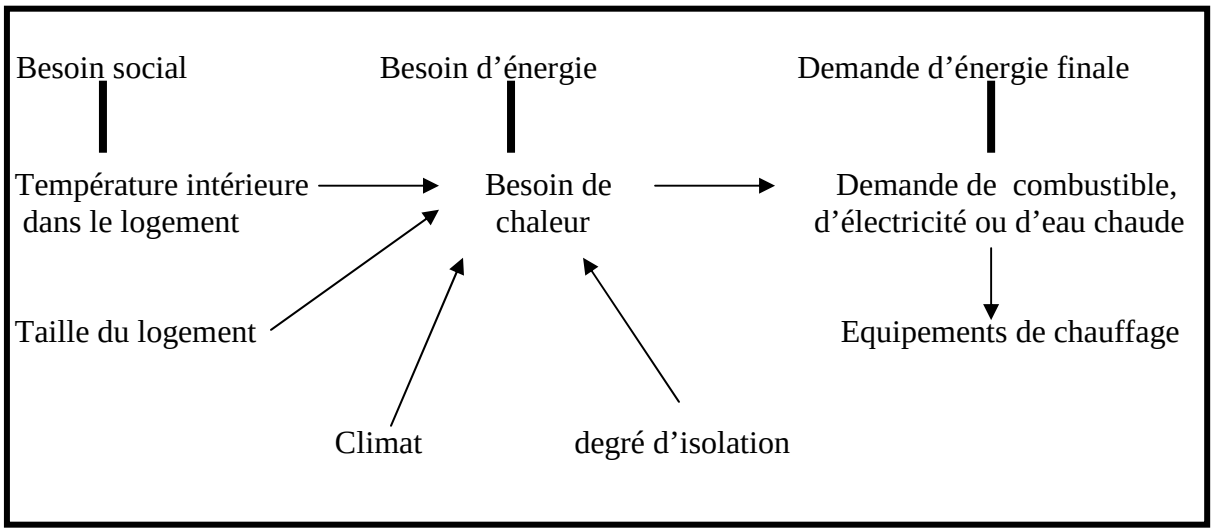


Fig-I-2- Demande de l'énergie finale dans le cas du chauffage domestique

(Source : B.Chateau et B. Lapillonne, 1977)

[7] CHATEAU. Bertrand et LAPILLONE. Bruno, __ *La prévision à long terme de la demande de l'énergie – propositions méthodologiques*, Paris: Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, 1977, p30-31

I-2- La consommation mondiale de l'énergie:

Une grande part de la consommation mondiale de l'énergie se rend au profit des énergies fossiles : pétrole, gaz naturel, etc Fig-I-3-. En ordre de grandeur, on utilise en moyenne 11 fois plus d'énergie pour nous chauffer, 8 fois plus d'énergie primaire pour notre consommation d'électricité, 10 fois plus pour l'industrie et 11 fois plus pour le transport.[8] Seul le chauffage absorbe environ les deux tiers de l'énergie mondiale. Il peut s'agir du chauffage des locaux (habitations, usines, magasins) ou du chauffage d'industrie.[9]
Cette consommation montre de façon plus expressive le rôle vital de l'énergie aussi bien dans le domaine industriel que dans le domaine social.

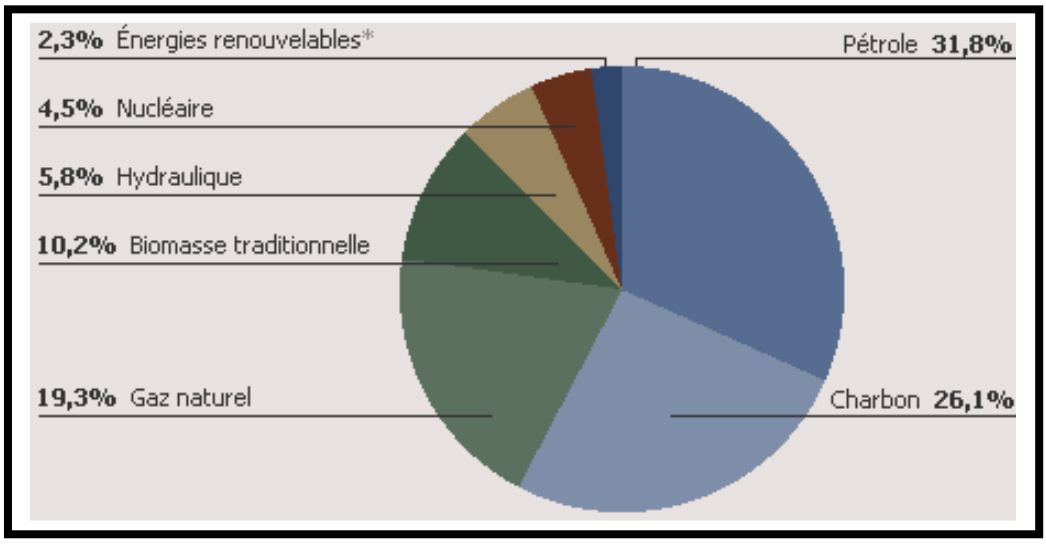


Fig-I-3- Répartition des ressources énergétiques utilisées

(Source: Conseil mondial de l'énergie1996, In Collection Microsoft Encarta 2005).

Dans le secteur résidentiel et tertiaire, les bilans énergétiques montrent que les ENR* ne représentent que 4,5 % de la consommation totale (78 MTep). Or le bois fournit à lui seul 8 MTep par an dans ce secteur, et l'hydraulique fournit 20% de notre électricité, donc ici 8 MTep. Selon une étude de la CCE, les gains solaires passifs dans les bâtiments s'élèveraient à 14 MTep par an. Au total, la contribution des ENR représente alors 30 MTep, soit près de 40% du total. [10]

[8] PEUPORTIER. Bruno, __ *Eco conception des bâtiments. Bâtir en préservant l'environnement,* __ Paris: Les presses de l'Ecole des Mines, 2003, p 75.
[9] MAILLET. Pierre et CASSETTE CARRY. Martine, __ *L'énergie*, __ Série que sais-je? Paris: Presses Universitaires de France, 7ème édition refondue, mai 1989, p17.
* ENR : Energie non renouvelable.
[10] The ECD Partnership, rapport CCE (DG XII) n° EUR 13094, 1990.

Rappelons que la consommation de l'énergie domestique à travers le monde a connu plusieurs époques : De 1950 à 1970 c'était les années du "tout pétrole" où l'énergie est bon marché. On construit sans soucis, des pertes thermiques, donc on chauffe. En 1973 premier choc pétrolier, c'est le début de la crise énergétique. Les prix du fuel, du gaz, du charbon, de l'électricité et du bois s'enflamment... En 1981, pour réduire les pertes et la consommation on isole, on change de chauffage ou carrément on investit dans la technologie coûteuse et sophistiquée. Mais, les maisons sont mal conçues et inadaptées aux contraintes climatiques. Leurs conceptions n'évoluant pas, les déperditions demeurent, les besoins en chauffage aussi et le coût de l'énergie monte toujours... Isoler, sur-isoler ne suffit plus ![11]

Récemment et à ce sujet les vingt cinq pays de l'union européen ont été appelés à appliquer la directive de la performance énergétique des bâtiments. Cette directive est un signe de politique fort de prise en main du destin énergétique et environnemental, de la part de l'Europe. C'est aussi un signe clair pour le secteur du bâtiment qui, bien que consommant actuellement 40% de l'énergie européenne, recèle un énorme potentiel d'économies. La commission européenne a confié au comité européen de normalisation la réalisation de 31 projets de normes : formes du certificat de performance énergétique, calcul des consommations d'énergie pour le chauffage, la climatisation, les systèmes solaires…, inspection des chaudières, des systèmes de climatisation… Autant de sujets pour lesquels les états membres disposeront de projets de normes sur lesquels s'appuyer pour mettre en place leurs dispositifs nationaux.[12]

Dans le cadre de cette optique, une étude a été établie par Jean Pierre Traisnel à l'institut français d'urbanisme sur la consommation énergétique des bâtiments résidentiels[13]. Les thématiques de recherche visent une approche technologique intégrée du bâti / équipement / réseau à l'échelle urbaine, chauffage, confort d'été, électricité spécifique et ECS (Eau Chaude Sanitaire) à l'échelle de l'habitation.

Selon Traisnel, l'usage de l'énergie domestique est en évolution sans cesse dans le parc résidentiel Fig-I-4-

[11] ROSTAND. Edmond, __ *Les maisons doivent être construites avec le climat* [Enligne]. Extrait de: www.maison-solaire.com (page consultée le 25/02/2004).
[12] Les cahiers techniques du bâtiment, __ *La RT2005 un défit énergétique à l'échelle de l'Europe*, N°246 Octobre 2004, p7.
[13] TRAISNEL. Jean Pierre (LTMU-CNRS, UMR 7136), __ *Prospective Energie/Habitat dans l'optique du facteur 4*, __ Institut français d'urbanisme ETUDE ECODEV-CNRS: HABITAT ET DEVELOPPEMENT DURABLE, ENR 13 mai 2004.

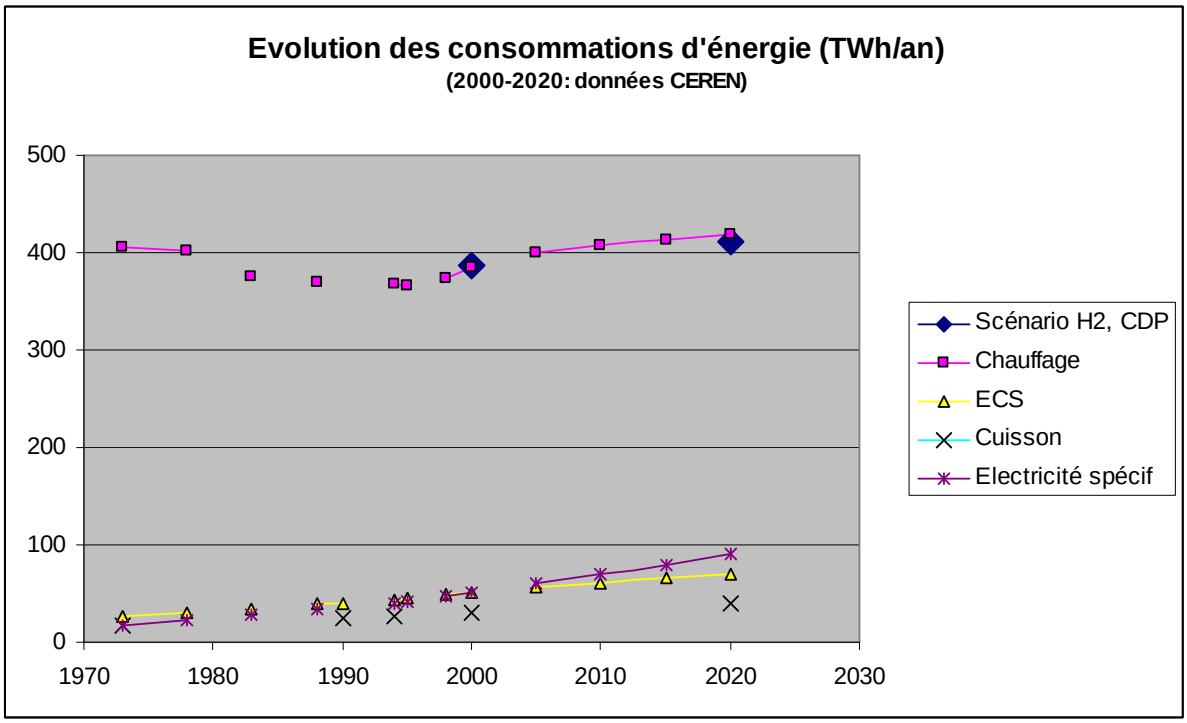


Fig-I-4 - Perspectives d'évolution des différents usages de l'énergie: le contexte (parc résidentiel) (Source: J.P. Traisnel, 2004)

Mais l'application de la haute technologie de l'association «domotique-bioclimatique » avec régulation, anticipation et confort adaptatif permet des émissions de CO_2 divisées par 4 (facteur 4) Fig-I-5- et une consommation très réduite des énergies fossiles Fig-I-6-. Ce qui sera possible en respectant les exigences de 2050 qui concernent les trois types de la construction : neuve avec 25 à 30 kWh/m² de référence « chauffage », ou labels « énergie plus » « carbone moins ». La construction « intermédiaire » (1950-2000) avec mur manteau, solarisation active de l'enveloppe, niveaux de performance de la construction neuve 2005. Enfin le « patrimoniale » dense avec réseaux d'énergie (bois, solaire, géothermie).

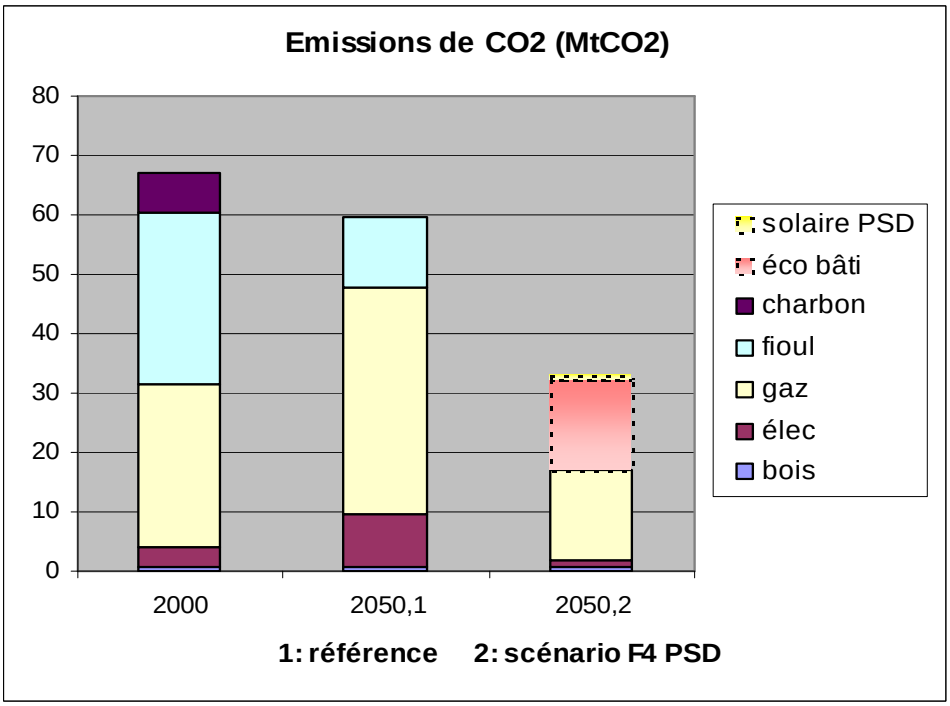


Fig-I-5- Perspectives des émissions de CO_2 (parc résidentiel) (Source: J.P. Traisnel, 2004)

Référence F4 : P. Radanne, MIES, 12/02/2004: ***La division par 4 des émissions de gaz carbonique en France, Introduction au débat.***

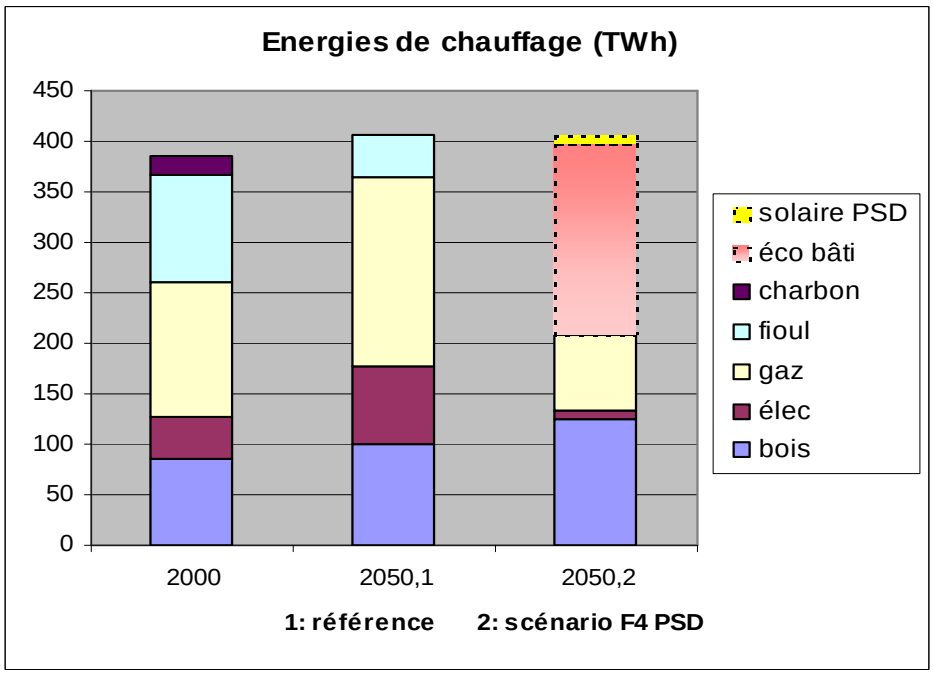


Fig-I-6- Perspectives de consommation de l'énergie de chauffage (Source: J.P. Traisnel, 2004)

I-3- La consommation énergétique en Algérie :

L'Algérie, riche en gaz et en pétrole ne s'est intéressée sérieusement à la rationalisation de l'utilisation de l'énergie qu'a la fin des années 80. Le 24 février 1971, date de la décision de nationalisation du secteur pétrolier, ainsi que la maîtrise et le contrôle des ressources pétrolières et gazières. Le gaz naturel qui constitue 60% de ses réserves en énergie fossile, alimente à hauteur de 30% de ses revenues en devises.[14] D'où la nécessité d'une réglementation de maîtrise de l'énergie s'impose en faisant valoir les arguments suivants :

- la préservation des ressources énergétiques conventionnelles ;
- la réduction des coûts des investissements énergétiques, notamment en matière de chauffage et de climatisation ;
- la réduction de l'impact des énergies fossiles sur l'environnement.

En 1995, la consommation nationale d'énergie a été de 25,3 MTep avec une pénétration plus grande des produits gazeux, plus disponible dans le bilan des ressources. Concernant la consommation finale, c'est le secteur résidentiel et tertiaire (45,7%) qui domine, suivi des secteurs de transports (27,8%) et de l'industriel BTP (26,8%). La part de la consommation finale représente prés de 62% de la consommation nationale.[15]

Les différents types d'énergie dans le secteur résidentiel nous servent globalement à quatre différents usages [16]:

* le chauffage représente la plus forte consommation environ 60% de l'énergie domestique;
* l'éclairage et l'électroménager, l'audio visuel et la climatisation représentent près de 20%;
* l'eau chaude sanitaire nécessaire représente près de 15% ;
* la cuisson représente près de 5%.

Notant que le niveau de consommation d'énergie finale par habitant est de 0.48 Tep en 1990 et qui passera d'après les perspectives à 1.35 Tep en 2010 et 1.88 Tep en 2020.[17]

La Fig-I-7- ci-dessous illustre l'évolution annuelle considérable de la consommation des produits pétroliers, du gaz naturel et de l'électricité dans le secteur ménager d'après des données présentées par le ministère d'énergie.[18]

[14] S. Assyl, __ Revue de SONATRACH, __ Réseau N°3 Avril 2004, p30.
[15] YACEF. A, __ Séminaire sur « *L'économie de l'énergie* », __ Alger, Avril 1997.
[16] CHITOUR. Chems Edine, __ *L'énergie- Les enjeux de l'an 2000*, __ Alger : Office des Publications Universitaires OPU, 1991, p 41.
[17] BENAZOUZ et BELHIRECHE, 1996, __ In acte du séminaire sur « *L'économie de l'énergie pour l'habitat en grand nombre* », __ Alger 18/19 Novembre 1997.

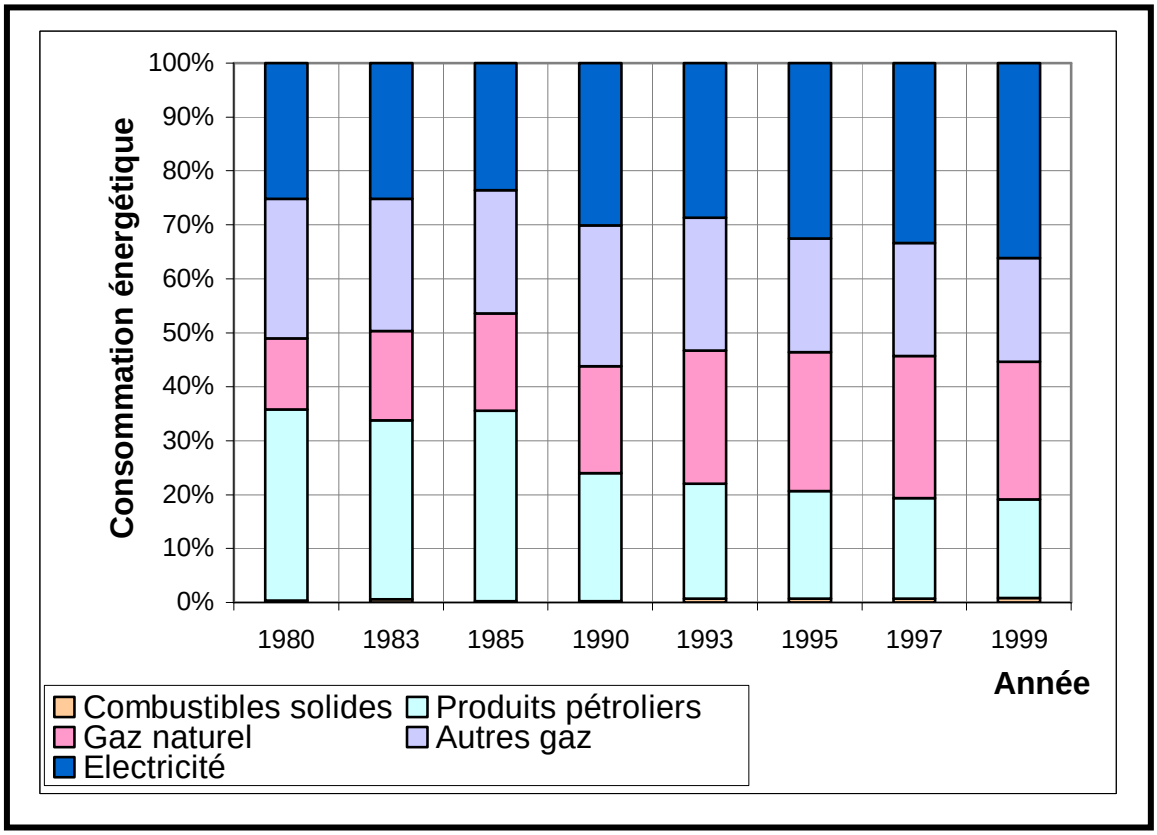


Fig-I-7- Consommation énergétique en Algérie dans le secteur ménager

(Source : DGE, 2000, réadapté par auteur)

I-3-1- Consommation du gaz naturel en Algérie :

Selon Chitour, la consommation intérieure du gaz naturel par habitant a démarré en 1961 au rythme de 156 millions de m³, atteindrant 1,4 milliard de m³ en l'an de 2000.
Le tableau -I-1- donne l'évolution de la consommation du gaz de 1980 à 1999 :

Tableau-I-1- : Evolution de l'activité gazière en Algérie.

	Unité	**1980**	**1983**	**1985**	**1987**	**1990**	**1993**	**1995**	**1999**
Consommation par habitant	Millier de tonnes	851	1020	1210	1369	1552	723	1541	1662
Nbr de villes alimentées	-	1	22	50	80	150	nd	nd	nd

(Source :Ch.E. Chitour, 1994 d'après Boutarfa, DGE, 2000)

[18] Ministère de l'énergie, __ *Bilan énergétique national de l'année 1999/* DGE, 2000, EPE Novembre, 2000.

I-3-2- Consommation de l'électricité en Algérie :

La consommation et la production de l'électricité a augmenté de 1980 à 1990 avec un rythme soutenu d'environ 41,5 % et de 61,5% de 1990 à 2000. Voir tableau -I-2- .

Tableau-I-2- : Evolution de la consommation électrique en Algérie

	Unité	**1976**	**1980**	**1985**	**1990**	**1995**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**
Population	Milliers	16450	18666	21863	25022	28060	29965	30416	30879	3137
Consommm	GWh	321	5392	9408	13008	15697	19932	21144	22245	23202
Nbr abonnées	-	1161651	1602362	2296755	3159680	3934619	nd	544000	nd	4897000

(Source: Ch.E. Chitour, 1994, DGE, 2000)

En étudiant ces chiffres, la consommation importante du gaz et de l'électricité dans l'habitat revient essentiellement à l'utilisation intense du chauffage en hiver et de la climatisation en été. Cuisson, éclairage, électroménager et eau chaude sanitaire représentent chacun un taux moins élevé comparé à celui du chauffage ou de climatisation.

Plusieurs facteurs interviennent directement dans la détermination de cette énergie. D'une part les facteurs socio-économiques en rapport avec le niveau de vie des algériens. D'autre part les facteurs de la caractéristique de l'habitat et l'aménagement urbain (caractéristiques thermiques de la construction, densité du groupement..).

Le problème des dépenses énergétiques se posera ainsi avec d'autant plus de gravité quand le bâtiment se trouve sous un climat rude. Le chauffage si l'hiver est plus froid, et la climatisation si l'été est plus chaud et plus ensoleillé. Le niveau de consommation dans le secteur résidentiel en période estivale est surtout l'une des préoccupations majeures exprimées dans le cadre du modèle de consommation énergétique Algérien.

L'Algérie, ayant ratifié toutes les conventions cadre internationales notamment celles liées à la préservation de l'environnement, se trouve être contrainte d'adopter une attitude ferme à l'instar des autres pays pour appliquer les différentes consignes liées à la protection de l'environnement. Sa position désormais claire dans le contexte de partenariat euro méditerranéen suite à la signature de l'accord d'association avec l'Union Européen qui elle s'aligne sur une production d'énergie renouvelable à hauteur de 15%, ainsi que sa présence au sommet de Johannesburg (Rio +10) dont les résultats en matière d'énergie renouvelable soulignent l'adoption d'un pourcentage de 12%, l'Algérie se doit de proposer une production à hauteur de 10% d'ici 2012.[19]

[19] Bulletin des énergies renouvelables N°2 Décembre 2002, p6.

I-4- La consommation énergétique à Guelma :

Le potentiel énergétique à Guelma est assuré par deux réseaux. Le premier est le réseau électrique de 3.178 Km avec un taux moyen d'électrification de 92%. Le second réseau est celui du gaz naturel de 262 Km avec un taux de branchement de 45%. [20]
Par ailleurs, il y a lieu de signaler le gazoduc qui traverse la wilaya de Guelma du nord ouest en est (Skikda -Souk Ahras).

I-4-1- La consommation du gaz naturel :

D'après les données recueillies auprès de la SONELGAZ de la ville, la consommation annuelle du gaz naturel à Guelma est en perpétuelle croissance Fig-I-8-. Passant de 312270000 Thermie en 2000, arrivant à 403348432 Thermie en 2004. Soit une augmentation de 91078432 Thermie en quatre ans. (Voir correspondance des unités en annexe -II-)

A savoir que cette consommation concerne uniquement le gaz de ville, vu que l'alimentation en gaz butane (bouteille) n'est pas recensée.

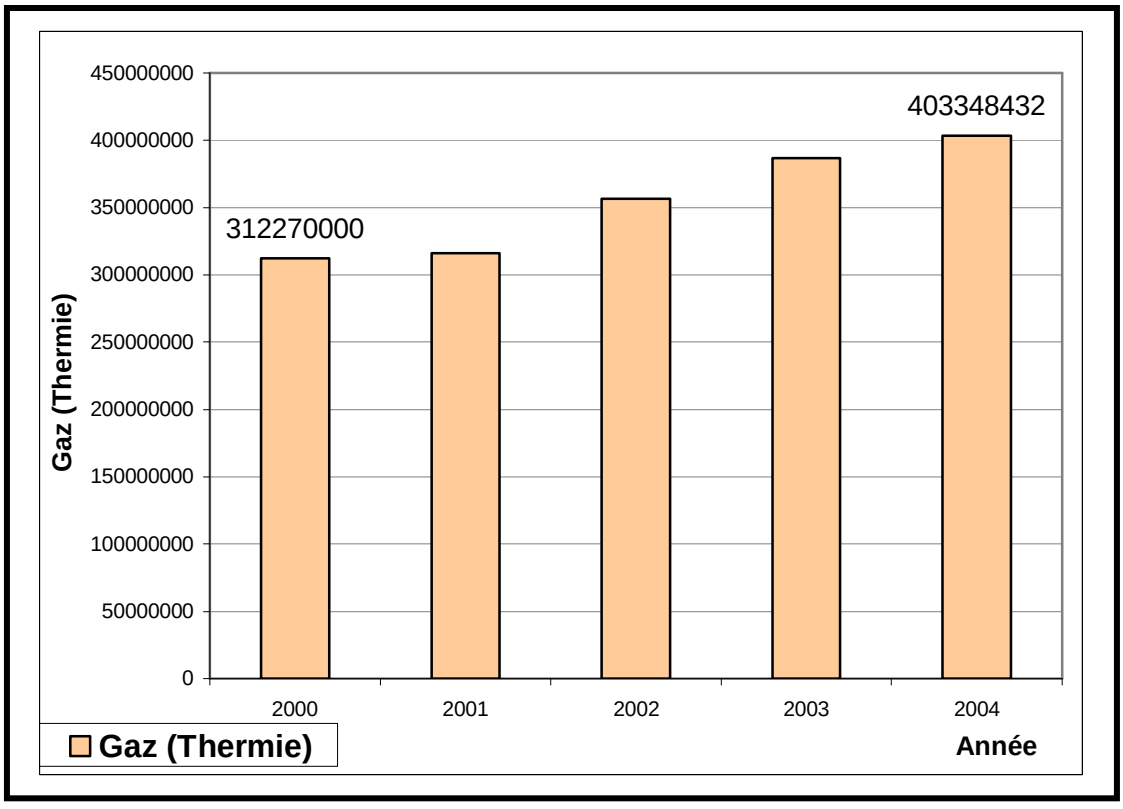


Fig-I-8- Consommation du gaz naturelle à Guelma : période 2000-2004

(Source : SONELGAZ Guelma)

[20] Direction des mines et de l'industrie Guelma.

I-4-2- La consommation de l'électricité :

La consommation de l'électricité à Guelma est aussi en croissance sans cesse. Les histogrammes de la Fig-I-9- montrent l'évolution de la consommation annuelle passant de 195324469 KWh en 2000, arrivant à 249036870 KWh en 2004.
Soit une augmentation de 53712401 KWh avec un rythme annuel presque constant de 10742480.2 KWh.

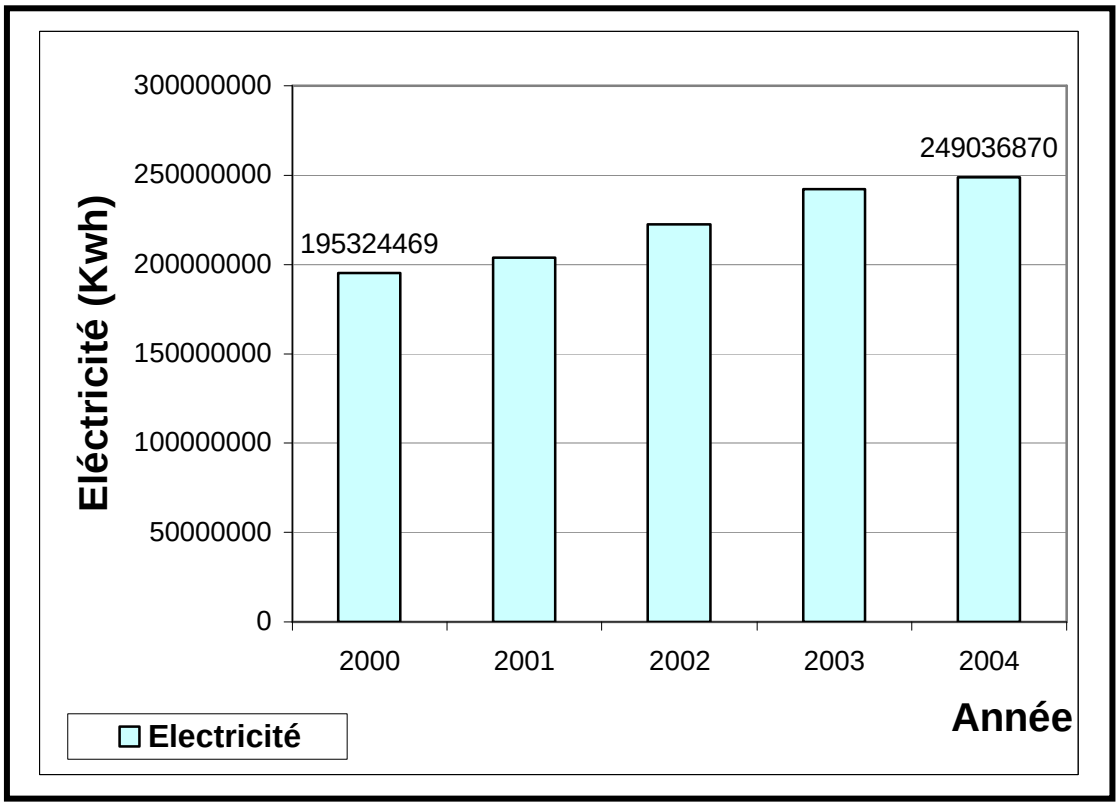


Fig-I-9- Consommation d'électricité à Guelma : période 2000-2004.

(Source : SONELGAZ Guelma)

L'augmentation annuelle enregistrée de la consommation du gaz naturel ou de l'électricité à Guelma est surtout due à l'évolution du nombre d'abonnés. La Fig-I-10- ci-dessous indique la croissance importante du nombre d'abonnés en électricité arrivant à 82781 abonnés en 2005, contre 35858 abonnés en réseau du gaz naturel. La différence s'explique, comme c'est déjà mentionné auparavant, par l'usage du gaz butane en bouteilles dans certaines agglomérations qui ne sont pas encore alimentées en gaz de ville.

Cette consommation énergétique globale (gaz et électricité) à Guelma est plus considérable en secteur résidentiel qu'en secteur tertiaire.

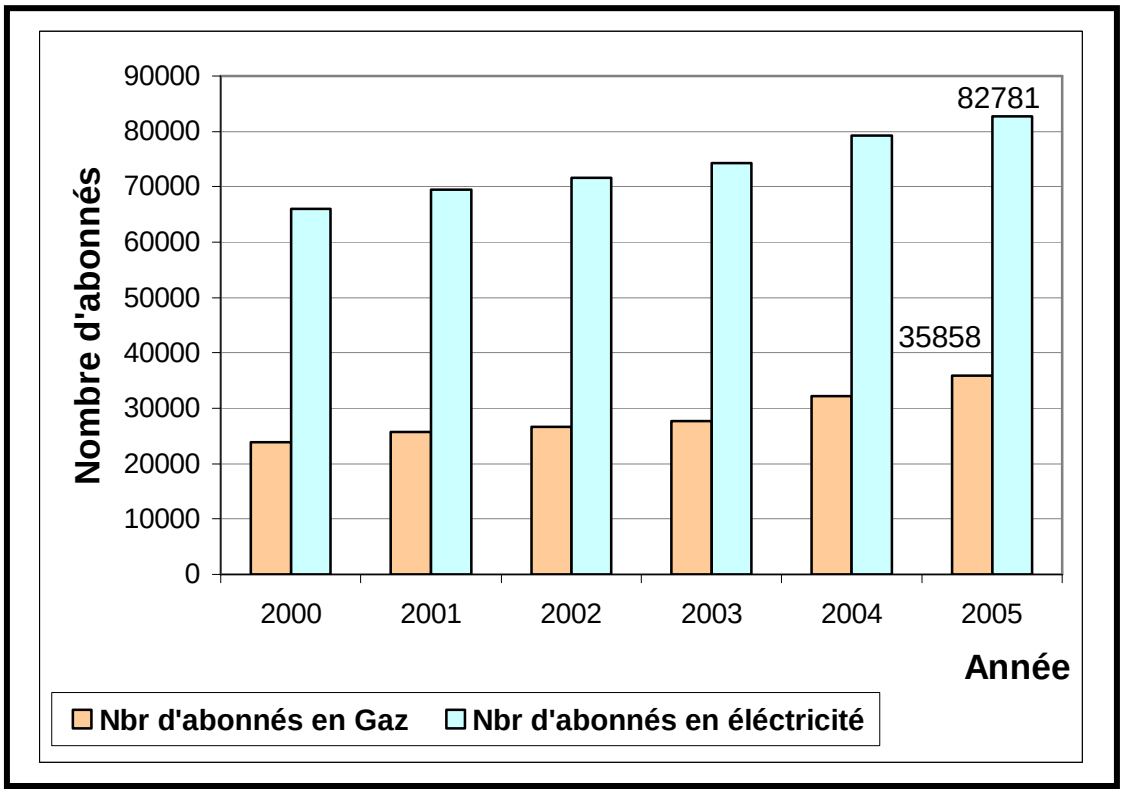


Fig-I-10- Evolution du nombre d'abonnés en électricité et en gaz naturel à Guelma : période 2000-2005 (Source : SONELGAZ Guelma)

Le secteur résidentiel, à propos de sa consommation du gaz naturel Fig-I-11-, enregistre un maximum de 384048436 Thermie en 2004 contre seulement 22442104 Thermie en secteur tertiaire. Soit une différence de 361606332 Thermie, autrement dit la consommation du gaz naturel en secteur tertiaire ne représente que 5,84% de sa consommation en secteur résidentiel. Bien que le secteur tertiaire se caractérise par une diversité des usages de l'énergie et par des consommations assez variables selon la fonction du bâtiment (enseignement, bureau, commerces, santé…). L'enjeu majeur du tertiaire est l'intermittence des consommations, du fait d'une occupation partielle des locaux.

De même, la consommation de l'électricité en secteur résidentiel est aussi plus importante qu'en secteur tertiaire. Le maximum enregistré en 2004 est de 108695240 KWh en secteur résidentiel contre un maximum seulement de 17934700 KWh en secteur tertiaire enregistré en même année Fig-I-12-.

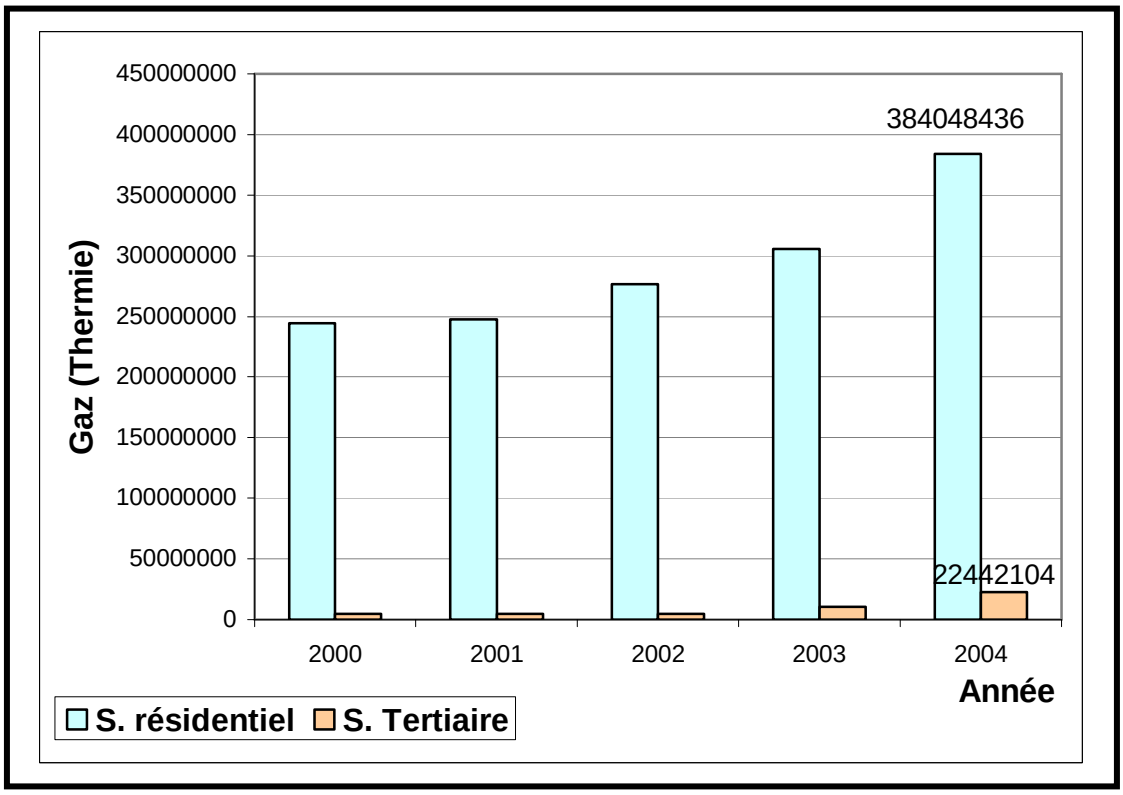


Fig-I-11- Consommation du gaz en secteur résidentiel et tertiaire à Guelma : période 2000-2004 (Source : SONELGAZ Guelma)

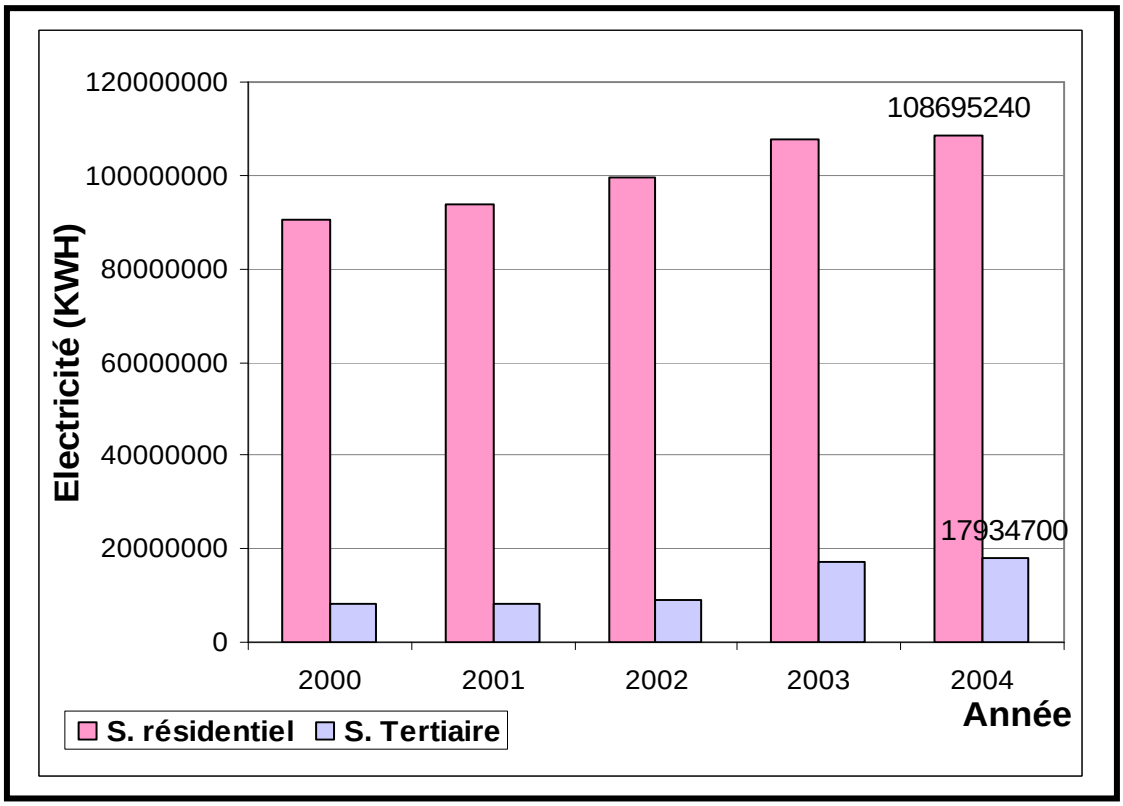


Fig-I-12- Consommation d'électricité en secteur résidentiel et tertiaire à Guelma: période 2000-2004 (Source : SONELGAZ Guelma)

La consommation énergétique prohibitive à Guelma en secteur résidentiel se traduit par l'utilisation intensive des moyens mécaniques. Les électroménagers et plus précisément les moyens de régulation thermique, chauffage en hiver et conditionnement de l'air en été. Ce qui influe énormément sur l'économie du pays et sur les revenus des ménages, surtout que ces énergies coûtent chers.

En réponse, selon Salr, de façon générale et quel que soit le consommateur d'énergie il existe trois moyens principaux pour économiser l'énergie. Premièrement, la réduction des besoins énergétiques qui sera possible avec la réduction de la demande et la réduction des déperditions. Le second moyen concerne plutôt l'amélioration des performances et le rendement des équipements. Et enfin le recours à l'utilisation des énergies renouvelables.[21] Quant à Fenerty-McKibbon. et Khare, ils affirment qu'il existe deux méthodes pour réduire l'usage de l'énergie. Soit en choisissant les sources d'énergie de faible impact comme les énergies renouvelables et les énergies propres. Soit en mettant en œuvre les solutions de l'énergie efficace dans les constructions nouvelles, en les rendant plus saines (remplacement du cycle de vie). Ils y ajoutent qu'une simple réduction de 10% dans la consommation d'énergie permet de compenser 3.6 million $.[22] Surtout qu'il est possible de conserver même 50% de l'énergie consommée, si un système d'isolement fiable est utilisé dans les bâtiments et les systèmes industriels.[23]

Un autre outil exemple d'une approche proactive favorisant les efforts de la conservation de l'énergie, qui est l'information de la population. Le site web « Energy Conservation Strategies and Solutions » lancé le24 février 2004 dans l'Intarnet au Canada fourni en détails les informations sur la conservation de l'énergie: celles du protocole de Kyoto et celles du Canada Post et leurs initiatives. En plus, il inclue toutes les suggestions pour les employeurs qui peuvent données un changement dans leurs activités quotidiennes (travail, demeure) qui auront un impact positif sur l'environnement. Surtout que Canada dispose de plus de 60.000 employeurs à travers le pays, qui vivent en communautés et qui peuvent influencés leurs familles et leurs collègues. Par ça, le potentiel de la propagation de l'idée de la conservation de l'énergie sera d'une importance non limitée.

[21] SALR. C, __ « Conception des formes urbaines et contrôle énergétiques », __Actes du colloque Nantes 25/26 Avril 1986, p 63.
[22] FENERTY-McKIBBON. Bev et KHARE. Anshuman, __ *Canada post delivers energy conservation*, Centre for Innovative Management, Athabasca University, Canada, __ ENERGY and BUILDINGS 15 June 2004, p 224 -225.
[23] IBRAHIM. Ahmed et al, 1986, __ In *" Impact of thermal insulation location on building in hot dry climates"*

La consommation des énergies renouvelables permet donc de préserver l'environnement, et de lutter efficacement contre l'épuisement des ressources fossiles. En plus et sous notre climat, les énergies naturelles (soleil, vent..) qui réchauffent et rafraîchissent la construction sont disponibles tout au long de l'année.

I-5- Le soleil, source d'énergie renouvelable:

Le soleil est l'élément moteur de tout réapprovisionnement énergétique sur terre Fig-I-13-. Pendant la journée la surface de la terre reçoit une quantité importante d'énergie solaire (environ 0.9KW/h/m²). Cette dernière s'est ouvrée avantageuse par le coût modéré de son installation et ses disponibilités. II s'agit d'une énergie renouvelable d'origine naturelle et inépuisable. Elle peut suffire pour chauffer un bâtiment bien conçu, équipé d'une surface absorbante et d'une capacité de stockage importante afin d'alimenter le bâtiment pendant les périodes d'obscurité et de mauvais temps. [24]

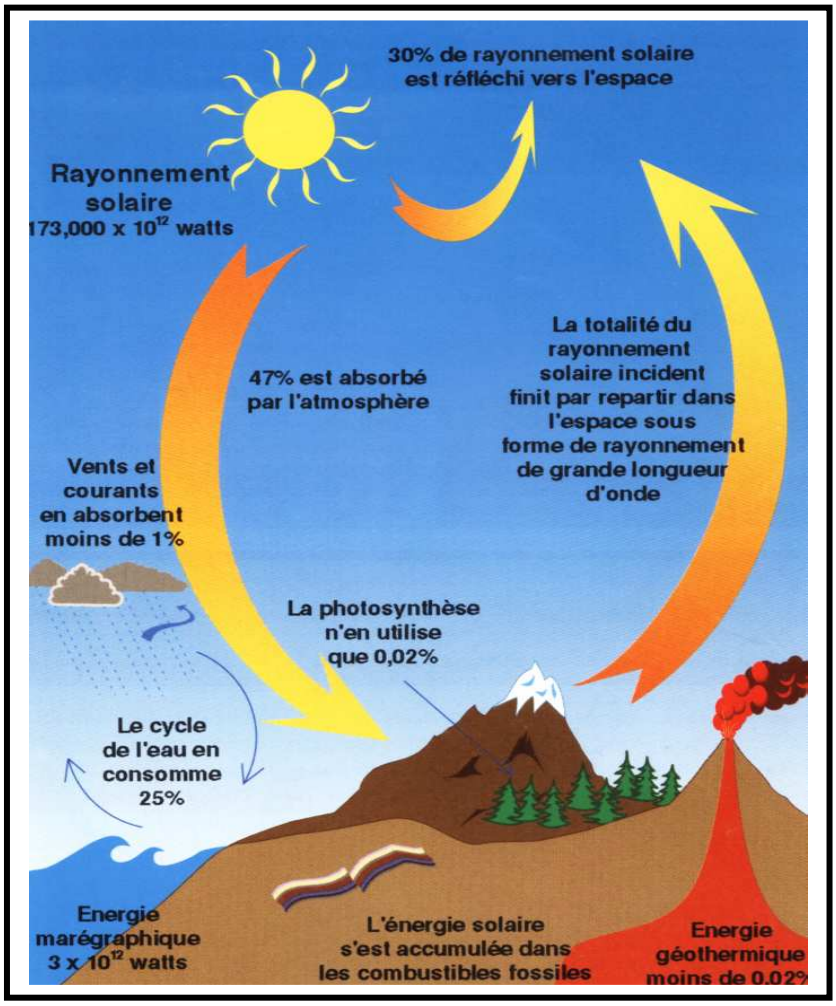


Fig-I-13- Le soleil notre première source d'énergie

(Source: Le Gia atlas of planet managment, Pan books 1985)

[24] PENEAU. Jeans Pierre (C.E.R.M.A U.P. Nantes), _ Eclipse des méthodologies: Les cahiers de la recherche architecturale N°13, _ Paris: Editions Parenthèses, Octobre 1983.

Les hommes ont partout tenu compte du soleil en construisant leurs maisons. Les générations se sont transmises les expériences faites avec la chaleur, le gel, la pluie et le vent tout comme le savoir des matériaux de construction et leur utilisation. Pourtant avec l'arrivée de l'exploitation industrielle des ressources fossiles, les hommes n'ont plus tenu du soleil. On était persuadé que les moyens techniques permettaient de maîtriser la nature, qu'avec l'électrification et les énergies fossiles. On pourrait simplement tout mettre en marche, chauffer, éclairer, climatiser. Les architectes construisaient des bâtiments consommant autant d'énergie. Mais confronté à une première crise pétrolière on s'est fait prendre conscience de la fin des énergies fossiles.

Rolf Disch, l'architecte solaire allemand le plus célèbre d'Europe affirme que : « *dès le début, la lumière et le soleil ont été pour moi, des éléments de la construction ; au début comme source de clarté et de confort, puis de plus en plus, comme facteur d'énergie allant jusqu'à la construction solaire* ». Selon Disch « *l'architecte a pour tâche de créer pour les hommes des espaces de vie qui ont des perspectives d'avenir, écologiques et économiques.*» Ce célèbre architecte a conçu la cité la plus moderne que surgit Freiburg en Allemagne. « Les maisons à excédent d'énergie » produisent plus d'énergie qu'elles n'en consomment. Dans ses maisons, Disch a associé la technologie moderne économisant les ressources aux connaissances séculaires sur la construction solaire. A ce sujet, l'institut de Fraunhofer de Freiburg (Allemagne) expérimente même une maison à énergie zéro.

En France, une maison individuelle durablement économique, inaugurée à Avon aux environs de Fontainebleau. Le rapport écologie/prix permet de réduire les charges de chauffage et d'eau chaude d'au moins 800 € / an, tout en assurant le confort de ses habitants et en respectant l'environnement. Son bilan du premier hiver de chauffage (2003-2004) du pavillon témoin équivaut à 2544 DJU* moyens. Pour les surfaces et volumes chauffés par la chaudière solaire et son appoint par pompe à chaleur aérothermique, les consommations se situent à 2439 KWh électriques, au lieu de 19506 KWh gaz calculés pour une même maison juste conforme à la RT2000 (Réglementation Thermique). Soit environ 10 fois moins de KWh consommés et de CO_2 émis. [25]

Dans notre pays, le soleil est susceptible de fournir une énergie renouvelable et gratuite. Son exploitation présente un aspect décentralisé et offre un intérêt particulier dans

* DJU : Degrés Jours Unifiés, obtenus à partir des températures moyennes quotidiennes.

[25] Les cahiers techniques du bâtiment, __ *Le retour du bioclimatique en maison individuelle,* N°246 Octobre 2004, p32-33.

le cas de l'habitat dispersé. Dans ce cadre, l'équipe de recherche en gisement solaire* du laboratoire « Evaluation du potentiel énergétique », s'est assignée pour objectif le développement d'une méthodologie qui a permet une estimation réaliste du gisement solaire pouvant être exploité à des fins énergétiques par les concepteurs du systèmes solaires. Ainsi un atlas préliminaire a été élaboré, il est constitué d'un ensemble de 72 cartes représentant la distribution mensuelle à grandes échelles des différentes irradiations solaires utilisées par les concepteurs de systèmes solaires, il s'agit de :

- l'irradiation directe à incidence normale ;
- les irradiations de base, la diffuse et la globale mesurées sur plan horizontal ;
- l'irradiation solaire globale reçu sur des plans verticaux orientés est, ouest et sud ;
- l'irradiation solaire globale reçu sur un plan incliné à la latitude du lieu, orienté sud. [26]

Notant que l'exploitation de l'énergie solaire dans les bâtiments favorise non seulement la diminution considérable des besoins en chauffage et en climatisation, mais aussi les besoins en eau chaude sanitaire, en éclairage et en électricité. Le domaine du chauffage c'est certainement celui qui, à court terme, se prête le mieux à une exploitation extensive. Tiré parti du climat, principalement du soleil est donc une question d'élaboration architecturale consciente de l'énergie.

I-6- Pour une architecture consciente de l'énergie:

Afin de diminuer très sensiblement les besoins de chauffage sans perturber le confort d'été et pour un surcoût très raisonnable, voir quasiment nul, une démarche consiste à conjuguer favorablement un certain nombre d'éléments entre eux :

- bonne implantation dans le site ;
- orientation, dimensionnement et constitution des baies vitrées et de leurs fermetures nocturnes ;
- inertie thermique ;
- masques du bâtiment lui-même ou de l'environnement ;
- régulation du système de chauffage. [27]

* Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée.

[26] MEFTI. A, _ *Evaluation du potentiel énergétique solaire*, _ Bulletin des énergies renouvelables N°2 Décembre 2002, p12.

[27] CHARBONNIER. Sylvie et al, _ *Le guide de la thermique dans l'habitat neuf*, _ Paris: EDITION DU MONITEUR, 1992, p143.

Les résultats de recherche montrent que le choix restreint des matériaux, leurs caractéristiques thermiques, la faible épaisseur des murs et l'importante proportion des surfaces en contact avec l'extérieur, constituent des facteurs qui augmentent les apports et les déperditions.[28] Sur le choix des matériaux, les études affirment aussi que la réduction désirable de l'îlot de chaleur peut être accomplie à travers le changement des matériaux utilisés dans les bâtiments qui, en tour, peut mener pour diriger les effets bénéfiques directes et indirects pour l'homme et l'environnement. Les effets directs positifs sont l'abaissement de la température de l'air dans les zones urbaines, la réduction de la demande d'énergie pour les systèmes de climatisation et la réduction de la pollution atmosphérique. L'effet indirect aussi positif concerne la réduction de la production d'énergie.[29] D'autres investigations révèlent que le manque de conscience aux conditions climatiques, les matériaux utilisés, l'orientation des fenêtres et la forme des bâtiments affecte considérablement le contrôle du comportement thermique intérieur.[30] Malgré que l'art de bâtir en prenant en compte l'influence des facteurs climatiques n'est pas une invention du 20ème siècle. L'analyse d'anciennes bâtisses affirme que celles-ci jouissent d'aspects bioclimatiques, climatiques et sont même présentées aujourd'hui comme une référence en matière de savoir faire.

L'architecture solaire, climatique, bioclimatique… autant de vocabulaires différents pour une même vision, procurent chacun une partie intégrante d'une économie de l'énergie renouvelable. George et Jeanne-Marie Alexandroff classent ces vocabulaires et affirment que certains d'eux insistent sur la notion du climat comme l'architecture climatique, bioclimatique, well-balanced house (maison bien équilibré) et climate shaped house (maison formée par le climat). D'autres termes insistent plutôt sur l'utilisation de l'énergie solaire, comme la maison solaire, l'architecture solaire, l'habitat solaire, l'habitat solarisé, l'architecture du rayonnement, solarchitecture, solar oriented architecture (architecture orientée vers le soleil), l'urbanisme solaire et l'habitation à climatisation naturelle. Enfin des termes insistent sur la l'insertion dans l'écosystème tel que l'éco-habitat, maison écologique, habitat autonome, habitat à bas profil énergétique et zero energy house (maison énergie zéro).[31]

[28] CHELGHOUM. Z et BELHAMRI. A, « Habitat à bas profil énergétique », Revue des Energies Renouvelables : Journées de thermique, 2001, p60.
[29] BRETZ. S, AKBARI. H and ROSENFELD. A, *Practical issues for using solar-reflective materials to mitigate urban heat islands*, Atmospheric Environment 32 (1) (1998) 95-101.
[30] ZUHAIRY. Akram. A and SAYIGH. A.A.M, *Investigating the thermal responses of the contemporary villa type house of Saudi Arabia*, Raport d'étude, U.K: University of Reading, Whiteknights, Department of Engineering, 1992.
[31] ALEXANDROFF. George et Jeanne-Marie, *Architectures et climats : soleil et énergies naturelles dans l'habitat*, Paris : Edition Architectures Berger-Levrault 1982, p 216-217.

En se référant à la démarche traditionnelle, en général le principe essentiel de tous ces vocabulaires est de « bâtir avec le climat ou avec ses élément comme le soleil » dans l'optique de la conservation d'énergie. Alain Guyot affirme que « *l'architecture bioclimatique est l'un des éléments les plus intéressants pour redresser la barre et redonner à l'architecture sa qualité vitale* ».[32]

Ces formes d'architecture consciente de l'énergie, en plus des éléments du climat, les données du confort thermique, la réponse thermique d'éléments architecturaux et l'utilisation de matériaux naturels sont aussi prisent en compte. Aussi l'amélioration par de nouveaux matériaux et leur adaptation aux besoins de l'habitat contemporain par des méthodes raisonnées et étudiées pendant la recherche du confort. Ce qui n'implique pas des consommations importantes d'énergie, et où les habitants se sentent tout simplement bien.

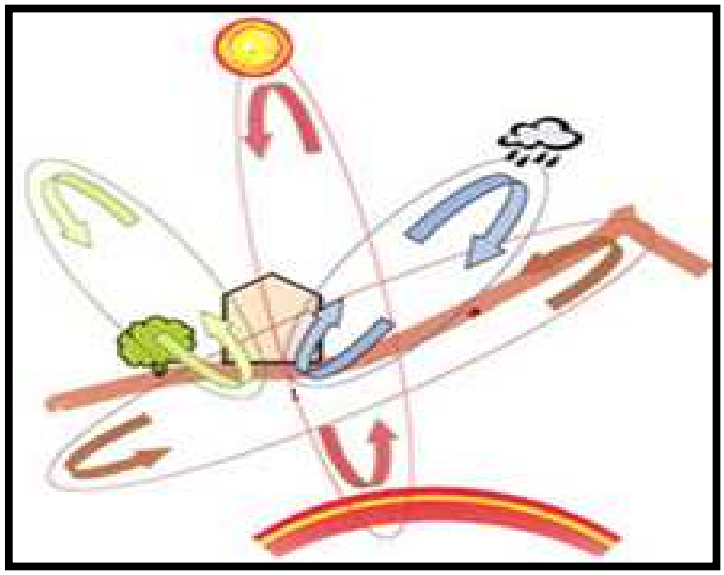
Conclusion :

L'augmentation du coût de l'énergie nous a rappelé que son entretient l'était tout autant. Mais avec l'adaptation de la construction aux paramètres climatiques, les divers besoins domestiques ont été énormément minimisés. L'optimisation des apports solaires qui est essentiellement une question d'élaboration architecturale, demeure depuis les premiers temps la solution aux dépenses exagérées de l'énergie fossile. Elle assure un meilleur équilibre entre les sources gratuites de notre environnement et les dépenses énergétiques. Donc pour une architecture consciente de l'énergie, une approche globale et intelligente des problèmes énergétiques devrait commencer par l'intégration climatique de celle-ci.

[32] GUYOT. Alain, __ *La microclimatique des villes et les formes urbaines Degrés de pertinence d'une démarche bioclimatique*, __ Groupe A.B.C école d'architecture, Marseille, 1987, p 48.

Chapitre II :

Climat et confort dans l'habitat



II-1- Climat et analyse climatique :

Introduction

Selon Joseph Belmont « *L'architecture est déterminée par une série de facteurs dont un seul ne varié jamais, le climat. On s'est toujours protégé du climat de la même façon, soit en construisant des murs épais, soit en se mettant à l'ombre* ». Pour survivre l'homme a appris à jouer avec la nature et ses manifestations. Son abri est ainsi marqué par des formes déterminées par les impératifs climatiques. Les facteurs sociaux, religieux et économiques interviennent évidemment, mais dans la manière de se protéger contre ses effets indésirables. Plus précisément le climat peut constituer un élément déterminant dans l'architecture lorsqu'il est à contrainte unique. Par contre s'il est à caractéristiques conflictuelles il faut chercher un compromis selon les facteurs climatiques dominants du lieu[1]. En fait le mot climat provient du grec klima, qui fait référence à l'inclinaison des rayons solaires par rapport à la surface de la terre. Une définition donnée par Kendrew en 1957 « *climate is a composite idea, a generalisation of the manifold weather conditions from day to day, throughout the year* ». Pris dans son sens large, le mot climat retrouve deux notions différentes : celle de climat moyen et celle de variabilité climatique. Le climat moyen correspond à l'ensemble des conditions qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère en un lieu ou une région donnée. La variabilité du climat correspond à la dispersion statique de ses éléments caractéristiques autour de leur valeur moyenne. [2]

Il peut donc être retenu que le climat est la succession habituelle des circonstances atmosphériques au dessus d'un lieu et à travers un temps donné. La connaissance de ses variables et leurs différentes combinaisons représente un principe essentiel dans la conception et le confort dans l'habitat. Ce chapitre par conséquent essaye d'établir une étude climatique, microclimatique et bioclimatique de la région d'étude « Guelma ».

II-1-1- Echelles de climat :

Le climat dépend des facteurs cosmiques, géographiques et des facteurs locaux. Pour la compréhension du concept climat, la notion d'échelle du climat s'est introduite avec une fraction de l'espace sous un ordre de grandeur varié. « *Il y a donc un climat planétaire, quelques climats zonaux, un grand nombre de climats régionaux et une multitude de microclimats* ». Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques de chacun d'eux : [3]

[1] ABDOU. Saliha, *Investigation sur l'intégration climatique dans l'habitation traditionnelle en régions arides et semi arides d'Algérie: Cas du Ksar de Ouargla et de la médina de Constantine*. Thèse de doctorat U:Cons 2004
[2] GUYOT. Gérard, *Climatologie de l'environnement Cours et exercices corrigés* Paris: ED DUNOD, 1999 p287
[3] TABEAUD. Martine, *La climatologie*, Paris: Edition ARMAND COLIN, 2000, p 156-157.

Tableau -II-1- : Echelles de climat

Echelle du climat	Ex. de mécanismes caractéristiques	Espace géographique	Extension horizontale	Extension verticale	Durée de vie des processus
Globale	Radiation solaire, circulation générale (atmosphère)	Planète	20.000 Km	40 Km	1 an
Zonale	Flux d'ouest, mousson, CIT *	Zone	5.000 Km	15 Km	Quelques semaines
Synoptique	Anticyclone, perturbation	Portion de continent/ océan	3.000 à 1.000 Km	15Km	90 h
Régional mésoclimat	Ascendance orographique brise de mer tempête	Pays	300 à 50 Km	12 à qq Km	48 à 5 h
Local topoclimat	Orage brise de versant inversion thermique	Vallée, ville	5 Km	100 m	24 à 1 h
Microclimat	Turbulence	Site de clairière, rue	10 m	2 m	

(Source : Martine Tabeaud, 2000)

Le climat devrait être considéré d'un grand sérieux, du fait qu'il existe une interaction entre ses effets, les activités humaines en général et le produit architectural en particulier Fig-II-1-. La forte densité démographique, l'activité industrielle intense et la consommation d'énergie intensive ont d'importantes répercussions sur l'environnement et sur le climat local. Selon le rapport du Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) en décembre 1995 on doit s'attendre à une augmentation de 1 à 3.5°C de la température moyenne à la surface de la terre d'ici 2100.[4]

Le micro climat local, essentiellement artificiel, peut transformer la ville en îlot de chaleur Fig-II-2-. L'accumulation des polluants augmente sensiblement les concentrations de gaz à effet de serre. Ce qui peut élever les précipitations et modifié la transparence de l'atmosphère. André Hufty conclut qu'une multitude de microclimats existe au niveau des rues et dépend de leur orientation, de leur degré d'ouverture vers le ciel et de la présence de surfaces et matériaux très hétérogènes suivant les quartiers. Par ailleurs les immeubles élevés accentuent la force du vent et les tourbillons formés, peuvent endommager les constructions et nuire au confort des habitants. Aussi, la rugosité des constructions modifie l'ensemble des échanges convectifs, ce qui traduit un nouvel équilibre microclimatique.

*CIT: Convergence InterTropical: au voisinage de l'équateur, les alizés des deux hémisphères le long de la zone CIT s'affaiblis pour laisser la place à de grandes étendues de vents faibles ou de calmes équatoriaux.

[4] *Météorologie et hydrologie urbaines*, _ OMM N°853 Organisation Météorologique Mondiale Genève, Suisse 1997

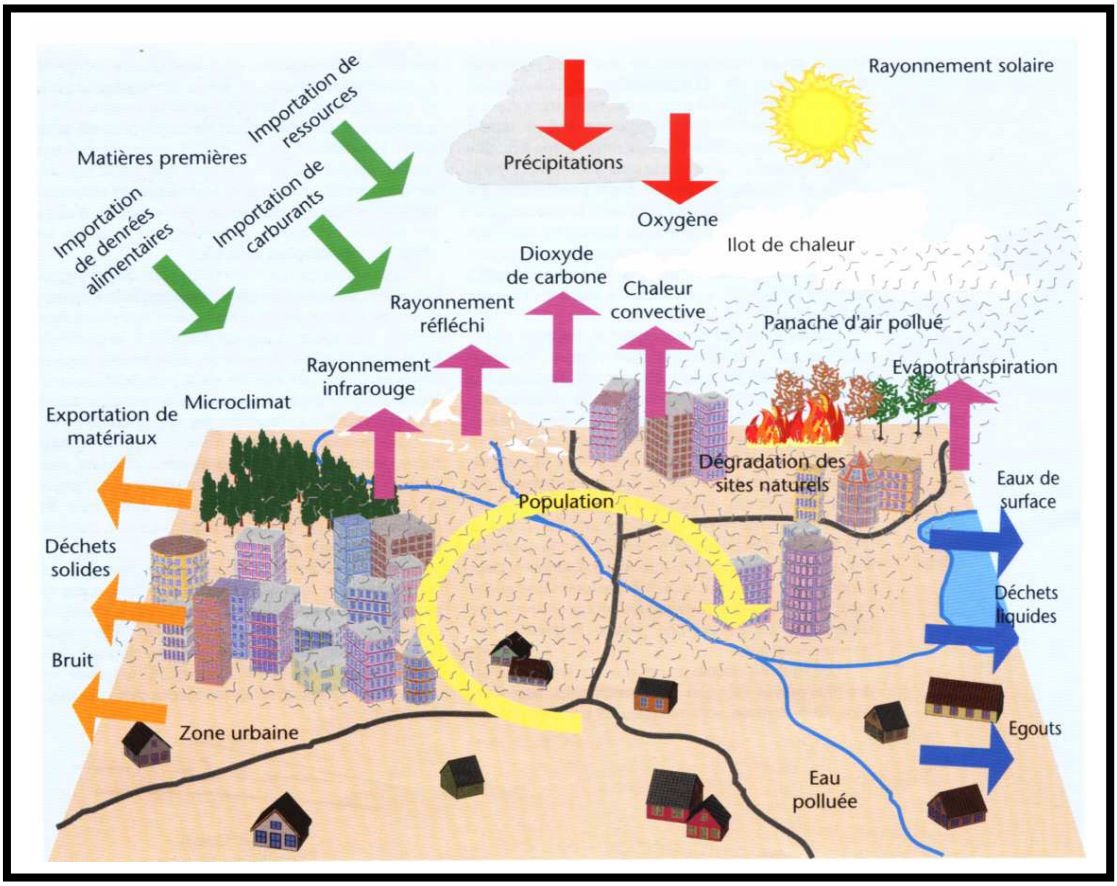


Fig-II-1- Interaction entre le climat et les activités humaines (Source: OMM, 1997)

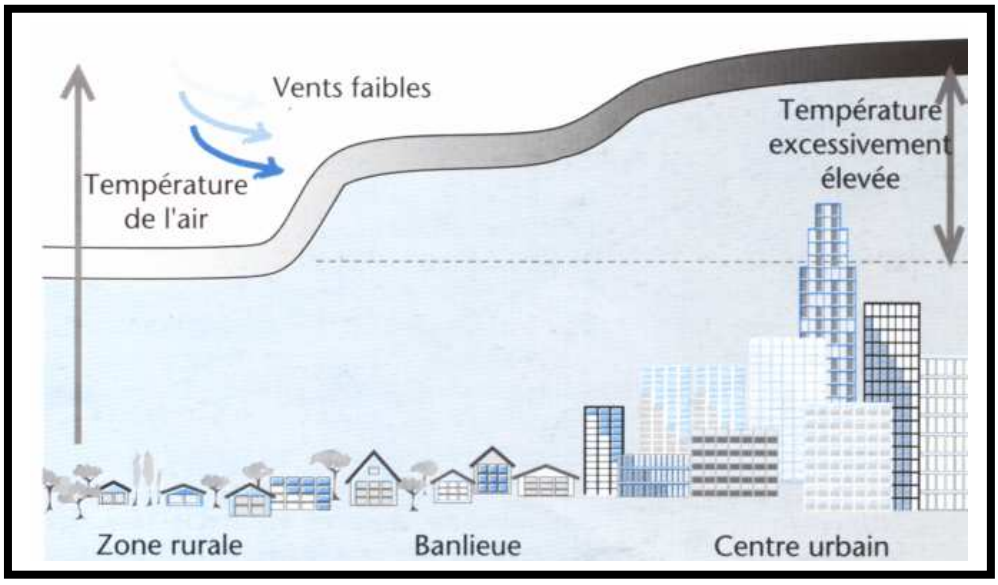


Fig-II-2- Représentation graphique de la coupe transversale d'un îlot de chaleur urbain

(Source : OMM, 1997)

II-1-2- Analyse des éléments du climat :

« *Le système climatique de notre planète est d'une grande complexité puisque, outre l'atmosphère interviennent aussi l'océan, la cryosphère (les zones recouvertes par les glaces), les mers émergées, l'eau douce et la végétation, l'élément moteur étant l'énergie rayonné par le soleil.*»[5]

Le soleil est donc la source de tout réapprovisionnement énergétique quotidien qui crée le vent, la pluie et réchauffe la terre. Ces paramètres climatiques avec le soleil constituent des éléments essentiels à considérer en toute phase amont de conception des bâtiments. Ce ci nécessite en premier lieu d'établir une étude détaillée de chaque paramètre à part.

II-1-2-1* L'étude de soleil

L'alternance des jours, nuits et des saisons est due à la rotation de la terre autour du soleil selon un plan écliptique. La position du soleil peut être connue grâce à la détermination de la hauteur et l'azimut solaire (Voir annexe -I-).

La hauteur est l'angle entre la droite joignant le centre du disque solaire au point d'observation, et le plan horizontal passant par ce point. L'azimut quant à lui est l'angle mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre entre le point cardinal sud au nord, et la projection sur le plan horizontal local de la droite reliant la terre au soleil Fig-II-3-.

Une série d'abaques donne l'ensemble des positions apparentes du soleil sous forme graphique. La plus juste et la plus pratique est la projection sphérique équidistance qui ne déforme pas le voisinage du zénith, et surtout est compatible avec la vue d'un objectif fish-eye [6]

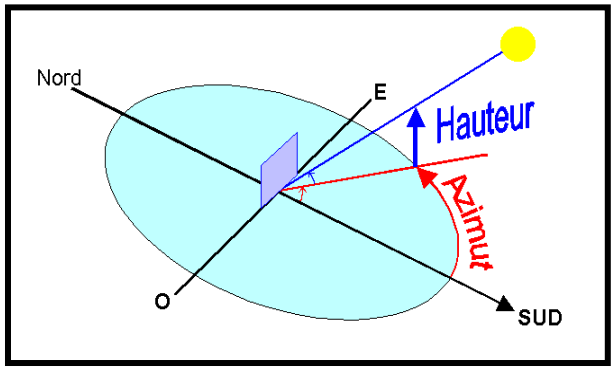


Fig-II-3- Coordonnées horizontales du soleil (azimut et hauteur)

(Source: www.outilsolaire.com)

[5] *Observer l'environnement de la planète : Le temps, le climat, l'eau,* _ OMM N°796 Organisation météorologique mondiale Genève, Suisse 1994.

[6] IZARD. Jean Louis, _ *Architecture d'été: Construire pour le confort d'été,*_Aix-en Provence: EDISUD 1993 p 137.

II-1-2-1*a- Les radiations solaires :

L'intensité des radiations solaires dépend de l'altitude du lieu, de la saison, de l'heure, du vent, de la quantité de vapeur d'eau, et des particules en suspension. On distingue les radiations directes, diffuses et réfléchies. Les radiations solaires directes sont la source la plus importante d'échauffement de l'air et des surfaces. Durant l'hiver, le soleil est très bas dans le ciel (même à midi) et ses rayons sont proches de l'horizontal. Ils frappent les façades sud des constructions et (proche du sud) en milieu de journée avec un faible angle d'incidence. Ces façades reçoivent donc plus d'irradiations solaires qu'en surface horizontale, elles sont favorables au placement de baies vitrées qui pourront capter ces apports solaires bénéfiques. Alors qu'en été une surface horizontale est fortement exposée à l'irradiation solaire en milieu de journée à cause de la quasi-verticalité des rayons. Les surfaces verticales sud (et proche du sud) reçoivent une irradiation très modérée. Mais en milieu de matinée et l'après midi, lorsque le soleil se trouve à l'est puis à l'ouest, ses rayons frappent de front les surfaces verticales est et ouest qui doivent en être protégées Fig-II-4-[7]

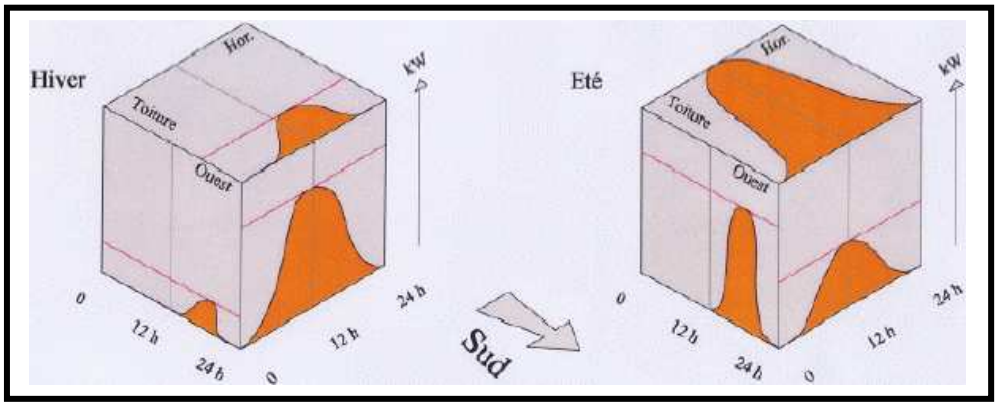


Fig-II-4- Puissance solaire reçue en hiver et en été sur les surfaces horizontales et verticales orientées sud et à l'ouest (Source : CERTU Lyon, Juillet 2003).

II-1-2-1*b- Température de l'air

La température dépend d'abord des apports solaires, mais aussi de la pression atmosphérique, de la teneur en eau, des échanges possibles avec les corps environnants (sol par exemple). Elle peut être modifiée avec le changement d'altitude, où elle décroît en moyenne de 0.65° C par 100m de dénivelé.[8]

En architecture, on utilise surtout les températures moyennes mensuelles et les amplitudes de températures extrêmes. L'usage le plus fréquent est celui du calcul de degrés heures ou degrés jours pour l'évaluation des charges de chauffage ou de climatisation d'un édifice.

[7] Ministère de l'équipement, des transports du logement, du tourisme de la mer, CERTU : Centre d'Etudes sur les Réseaux , les Transports, l'Urbanisme et les Constructions Techniques Mémento thermique du bâtiment pour le chargé de constructions publiques, __ *Confort thermique*, _ Lyon , juillet 2003.
[8] TABEAUD. Martine, _ *La climatologie*, __ Paris: Edition ARMAND COLIN, 2000, p 28-30.

II-1-2-1*c- L'humidité :

« *L'air est une éponge dont l'avidité croît avec la température* »[9]. Si la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air (en provenance des surfaces d'eau et de la transpiration des êtres vivants) est très variable, elle ne peut cependant dépassée un certain maximum. Celui-ci étant fonction de la température. Le plus souvent, il y a moins de vapeur d'eau dans l'air que ces quantités maximales. Le rapport entre la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air et la quantité maximale qu'il peut contenir à une température donnée s'appelle l'humidité relative, exprimée en %. On distingue aussi l'humidité absolue en g/m³.

Une autre façon d'évaluer l'humidité de l'air est de calculer le point de rosé. Exprimé en (°C), ce dernier est la température à laquelle la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air est égale à la quantité maximale de vapeur d'eau que l'air peut contenir à cette température.

Les valeurs de l'humidité relative nécessaires pour le concepteur sont les moyennes maximales et minimales mensuelles ainsi que les valeurs extrêmes.

II-1-2-1*d- L'évaporation :

La pression d'évaporation est crée par une quantité variable de vapeur d'eau contenue dans l'air. Sur les continents la vapeur d'eau provient de deux sources: l'advection en provenance d'unes zone plus humide, souvent d'un océan, et l'évapotranspiration locale qui régénère les nuages. Selon Brubaker et al en 1993, cette dernière se situe autour de 10 à 30% de l'apport total.

*** L'évapotranspiration potentielle (ETP)** est la somme des quantités d'eau pouvant s'évaporer et transpirer sur une surface donnée, et pendant une période bien définie en considérant les apports d'eau suffisants.

II-1-2-1*e- Les précipitations :

Le refroidissement d'une masse d'air contribue à la condensation de son humidité pour former les nuages, où des précipitations se produisent. A signaler que « *la quantité de l'eau dans l'air est estimée à 0.035% du total du globe et les nuages entre 1 et 2 pour mille. L'épaisseur moyenne est de 2 à 3 cm, ce qui correspond à 9 jours de pluie et un renouvellement de l'eau atmosphérique 40 fois par année. La répartition mondiale est reliée à la température dont dépend le rapport de mélange possible. Les valeurs s'étendent entre 6cm (saison humide équatoriale) et moins de 0.2 cm aux pôles. Elles sont plus faibles sur les déserts et au dessus des hautes montagnes mais sont loin d'être négligeables (environ 1 cm sur le sahara)* » [10]

[9] DEVUYST. Paul,__ *Météorologie et prévision du temps,* __ Paris : EDITION EYROLLES, 1979, p32.
[10] HUFTY. André, __ *Introduction à la climatologie Le rayonnement et la température, l'atmosphère, l'eau, le climat et l'activité humaine,* __ Les Presses de l'université Laval 2001, p 318.

II-1-2-1*f- Le vent :

Le vent est un mouvement d'air horizontal, né par les différences de pressions d'un lieu à l'autre. Défini par sa direction, sa fréquence et sa vitesse. D'autres facteurs affectent sa distribution comme la rotation de la terre, la variation journalière de la température et la topographie du lieu. De plus il y a des vents qui sont causés par des situations particulières tel que la présence des montagnes et les grandes surfaces d'eau.

Les fluctuations quasi instantanées des vents ont mené les météorologistes à choisir comme mesure de base la moyenne du vent sur 10mn à 10mètres de hauteur. Les données retenues sous forme d'un tableau de fréquence, permettent de dessiner le graphique de la rose du vent. Une méthode de simulation des mouvements atmosphériques en laboratoire en imitant l'atmosphère par un modèle, pour lequel il est lisible de modifier les conditions de l'expérience et dont les résultats sont explicables par des lois physiques connues. Cette approche a été suivit notamment par RIEHL et FULTZ à l'université de Chaicago.

Le vent est un paramètre essentiel dont il faut tenir compte. Par exemple l'impression du froid ressentie par le corps humain à 20°C, avec un vent de 20milles à l'heur sera la même que si la température était à 10°C et le vent de 3 milles.[11]

II-1-2-1*g- La végétation :

« *Le monde végétal, et les arbres en particulier sont fondamentaux pour l'équilibre de la planète. Ce sont les arbres et les plantes qui ont peu à peu transformé l'atmosphère de notre planète, en absorbant le gaz carbonique et en rejetant de l'oxygène …Elément vivant, l'arbre s'impose par sa verticalité, sa beauté, sa symbolique et son utilité s'enracine dans la mémoire collective des hommes.* »[12]

La végétation clarifie et met en valeur l'espace urbain. Elle assure la protection contre les vents, les radiations solaires et l'éblouissement. Elle influence aussi le climat local, où les recherches montrent qu'il y a une différence de température de 3,5°C entre la ville et la banlieue.[13] Surtout que la minéralisation des sols et la réduction du couvert végétal perturbent le bilan hydrique et raréfient l'eau sous toutes ses formes et privent la ville du refroidissement naturel par la consommation de chaleur latente. Certaines plantes peuvent aussi contribuer à la purification de l'air. Le lierre et la sanseveria par exemple absorbent le benzène (10µg par cm² de feuille), ainsi que le formaldéhyde (2 à 3µg par cm² de feuille)[14] . Les plantes servent également de filtre contre les poussières en humidifiant l'ambiance, un

[11]HUFTY. André, *Introduction à la climatologie*, Paris: EDITION Presses Universitaires de France 1976, p96
[12]REYSSET. Pascal, *Aménager la ville*, Collection Ecologie Urbaine : Coéditée par Foncier Conseil et les Paris : éditions Sang de la terre, 1997, p121.
[13]IZARD. Jean Louis et GUYOT. Alain, *Archi bio*, Paris: Edition PARENTHESES, 1979, p34.
[14]LABOUZE. Eric, *Bâtir avec l'environnement, enjeux écologiques et initiatives industrielles*, PARIS: Ed de l'entrepreneur, 1993.

ficus par exemple peut émettre de 10 à 20g d'eau par heur. Par ailleurs les jeunes arbres captent plus efficacement le carbone et favorisent son stockage. La conférence de Rio préconise leur extension, et en particulier dans le secteur de la construction. [15]

II-1-3- Classification du climat dans le monde :

La notion d'échelle de climat a engendré l'apparition de deux grands ensembles de groupements climatiques. D'une part ceux qui sont basés sur la classification génétique. D'autre part ceux qui reposent sur une combinaison de paramètres climatiques groupés ou non en indices.

II-1-3-1* La classification génétique des climats :

Les progrès de la dynamique de l'atmosphère ont permis d'établir des classifications génétiques des climats. Flohn et Hettner 1964, Terjung 1970, Barrelt 1971 fondent leur classification sur la succession des masses d'air et des types de temps. La plupart utilisent les caractéristiques statiques comme les précipitations et la température. Troll par exemple a essayé de combiner les divers éléments du climat au paysage botanique en faisant une part à l'explication dynamique. Le climatologue russe Budyko a proposé sa classification en fonction du bilan thermique et du bilan d'eau. Certains auteurs comme Péguy ont essayé d'établir une classification climatique qui serait axée suivant des fuseaux méridiens.
Mais la plus utilisée et la plus connue des classifications est celle de Koppen dont la version initiale date de 1900, et qui a été remaniée à plusieurs reprises et même étendue en océans.
La classification bioclimatique de V. Koppen se divise en cinq grands climats selon les températures (toujours chaud, chauds à torrides, doux, frais à froids, glacés). Avec un second critère, la disponibilité en eau (permanente, saisonnière, absente) Fig-II-5-.
Cette classification a ensuite été étendue à un découpage en 23 zones climatiques mondiales. Pour chacune de ces zones représentées prévaut une association spécifique de chaleur, de froid, de pluie ou de neige et de sécheresse. On distingue les climats équatoriaux humides, tropicaux, arides, tempérés, froids, polaires et les climats de montagne Fig-II-6-

D'après l'esquisse de la grille climatique proposée par A. Godard et M.Tabeaud en 2000, une quarantaine de climats, d'ailleurs fort inégalement représentés à la surface de la planète peuvent se distinguer. La carte jointe à l'annexe -I- repose sur une classification zonale des divisions majeures.[16]

[15] BARTHOD. Christian, __ Ministère de l'agriculture et de la pêche,__ Chronique des négociations internationales récentes, Revue Aménagement et Nature, N° 115, automne 1994.
[16] GODARD. Alain et TABEAUD. Martine, __ *Les climats mécanismes et répartition*, __ Paris: Edition ARMAND COLIN, Juillet 2000, p 142.

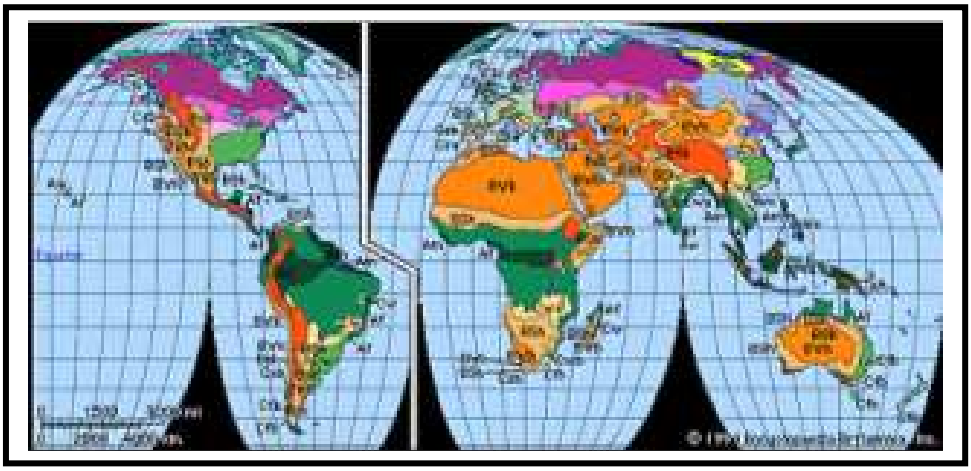


Fig-II-5- Classification climatique de V.Koppen (Source : Marsh- www Squ1.com)

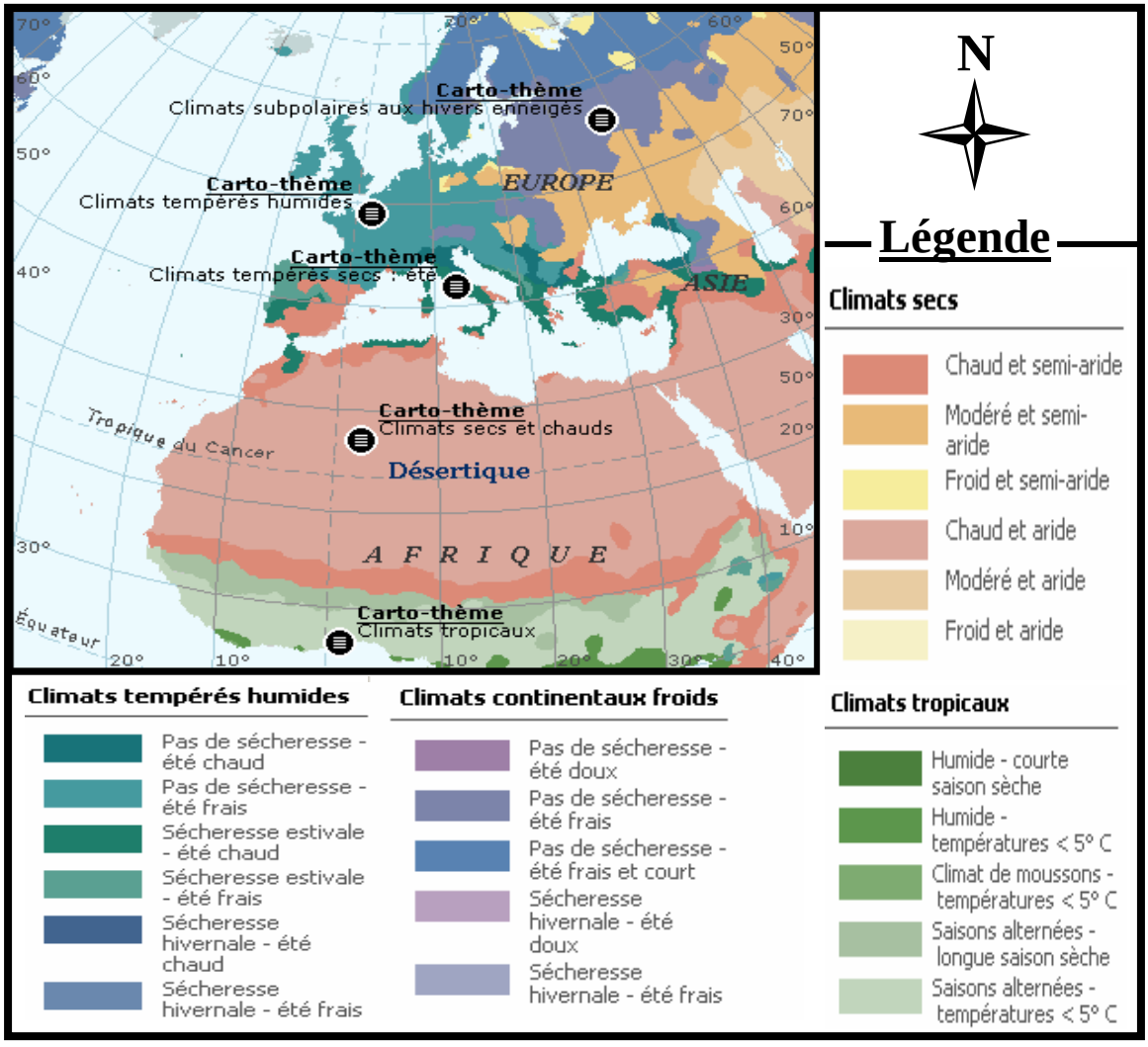


Fig-II-6- Classification du climat dans le monde (Source : Encarta, 2005, et réadapté par auteur)

II-1-3-2* La classification climatique à partir des indices :

De très nombreux indices climatiques ont été définis empiriquement pour permettre la plus au moins grande aridité d'un climat.

De. Martonne en 1923 a calculé un indice d'aridité pour caractériser le pouvoir évaporant de l'air à partir de la température.

$$IDM = P / T+10 \quad \text{……..1}$$

Avec, P : précipitation annuelles.
T : température moyenne annuelle.

De. Martonne a proposé ainsi la classification des climats en fonction des valeurs de l'indice données au tableau ci-dessous.

Tableau-II-2-: Indices de Martonne

Valeur de l'indice	Type de climat
0 < IDM < 5	Hyper aride
5 < IDM < 10	Aride
10 < IDM < 20	Semi aride
20 < IDM < 30	Semi humide
30 < IDM < 55	Humide

Source: Gérard Guyot, 1999

En 1930 L. Emberger a établit le quotient pluviothermique pour caractériser le climat méditerranéen et ses nuances. L'indice s'exprime ainsi:

$$QE = n.p / 3.65 (M + m) (M – m) \quad \text{……..2}$$

n.p: nombre moyen de jours des précipitations annuelles par sa hauteur moyenne.
m : moyenne des températures minimales du mois le plus froid .
M : moyenne des températures maximales du mois le plus chaud.

V.Koppen en 1931 a fixé en moyenne annuelle, les limites de la steppe et du désert à p = 10 t, si les précipitations ont un maximum hivernal.
Si les précipitations sont uniformes pendant l'année on ajoute 70 à l'indice, si elles montrent un maximum estival on y ajoute 140. L'effet des précipitations est d'autant plus marqué que la température est basse.

En 1948, Tronthwaite a proposé un indice d'humidité qui tient beaucoup mieux compte des besoins en eau avec :

$$Im = \frac{100 \text{ (surplus - déficit)}}{\text{Evaporation potentielle}} \quad \text{……3}$$

Le botaniste Henri Gaussen en 1952 quant à lui, a proposé deux indices pour la classification et la représentation graphique des climats. L'ombrothermique exprime les mois secs à partir des précipitations « sec, si P< 2T » Fig-II-7-. Le xérothermique, où les jours secs sans précipitations doivent en plus avoir une humidité relative inférieure à 40%.

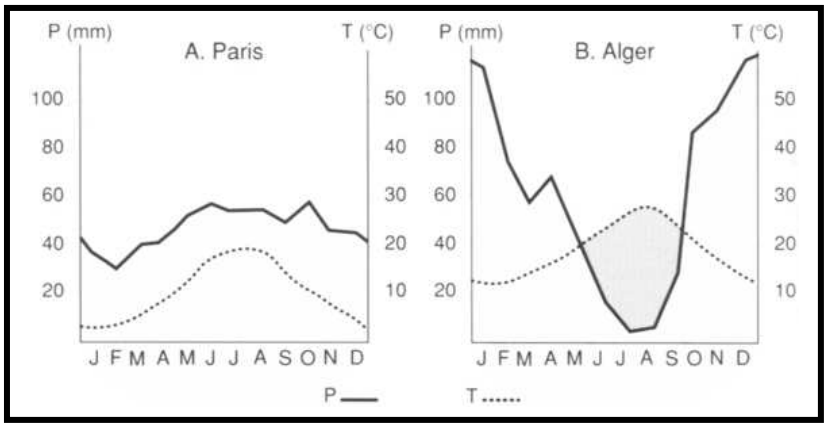


Fig-II-7- Diagrammes ombrothermiques (La période sèche est grisée)

(Source A. Godard et M. Tabeaud, 1998)

La modélisation globale des climats montre une image de leur évolution possible, et ces données sont actuellement utilisées dans les scénarios de recherches sous l'appellation « impact des changements climatiques ».

II-1-4- Classification du climat en Algérie

L'Algérie occupe une vaste étendue territoriale, sa superficie dépasse les deux millions de Km². Plus de 4/5 de sa superficie est désertique. D'où une large variété géographique et climatique allant du littoral au désert. La classification climatique en Algérie permet de distinguer quatre zones principales Fig-II-8-:

- Zone A : Littoral marin ;
- Zone B : Arrière littoral montagne,
- Zone C : Hauts plateaux ;
- Zone D : Pré-saharien et saharien.[17]

Le littoral marin jouit d'un climat particulièrement tempéré, dû à la l'action modératrice de la mer. Caractérisé par des hivers doux et pluvieux, et des étés chauds et humides avec de faibles amplitudes.

[17]MAZOUZ. Said, __ *Eléments de conception architecturale*, __ Alger: Edition O.P.U, Juillet 2004, p176-177.

Le climat de l'arrière littoral montagne est plus froid en hiver, où l'altitude et l'éloignement de la mer entraînent une baisse de température et des amplitudes diurnes et annuelles. Les étés sont chauds et moins humides.

Or, le climat des hauts plateaux est relativement homogène, à tendance aride et très continentale. Ses hivers sont plutôt froids et longs qu'à la même altitude dans la zone A et B. Les températures sont très basses avec une fréquence de neige. Ses étés sont chauds et secs.

Le climat Pré-saharien ou saharien quant à lui est caractérisé par l'intensité du rayonnement solaire et une faible humidité, d'où le caractère du climat aride. L'absence de nuages favorise une forte amplitude de température. La période froide est plus courte avec des jours modérés et des nuits très froides. L'été est très chaud et rigoureux, les températures atteignent les 45°C à l'ombre avec les vents intenses de siroco.

Le tableau -II-3- ci-après donne les caractéristiques spécifiques de chaque zone.

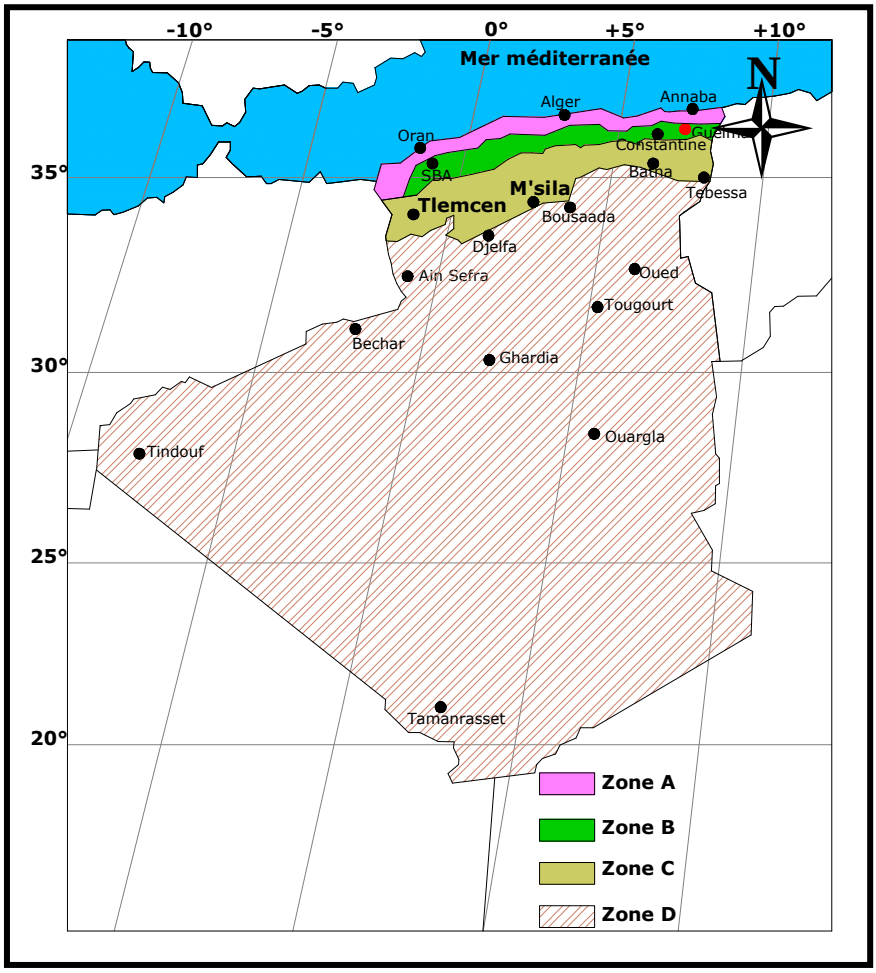


Fig-II-8- Classification du climat en Algérie (Source: Mazouz Said, 2004, et réadapté par auteur)

Tableau -II-3- Les zones climatiques d'Algérie

Zone A : littoral marin	
Localisation	Latitude : entre la limite supérieure de 35°N à l'ouest à 37°25N à l'est La limite inférieure de 35°15 à l'ouest à 37° 35 à l'est,
Variations saisonnières	spectre climatique varié de chauds étés avec soleil abondants et peu de pluies et des hivers modérés,
Températures	20 à 25 °C,
Précipitations	assez pluvieux de 500 mm,
Humidité	peu élevée,
Vents	modérés, nord à nord ouest en hiver.

Zone B : Arrière littoral montagne	
Localisation	Latitude:entre la limite supérieure de 35°10 N à l'ouest à 37°35N à l'est La limite inférieure de 35°25 à l'ouest à 36° 25 à l'est,
Variations saisonnières	avec des hivers plus frais.

Zone C : Hauts plateaux	
Localisation	Latitude:entre la limite supérieure de35°25Nà l'ouest à 36°25N à l'est La limite inférieure de 34°50 à l'ouest à 35° à l'est,
Température	supérieure à 30°C. Ecart important (15-18). En hiver, les températures tombent en dessous de 0,
Précipitations	environ 300mm mais très variable,
Humidité	peu élevée,
Conditions célestes et rayonnement	ciel clair avec des périodes de nuage léger. Rayonnement diffus modéré, des nuages et rayonnement réfléchit par le sol de modéré à élevé,
Vents	Essentiellement de direction ouest. Tendent à être forts débutant en fin. de matinée atteignent le maximum dans l'après midi. Nuits calmes.

Zone D : Pré-sahara et sahara	
Localisation	Latitude: entre la limite supérieure de 34°50N à l'ouest à 35°N à l'est. La limite inférieure de 19° à l'est et à l'ouest,
Variations saisonnières	02 saisons, chaude et froide,
Température	T°Moy, Max : 45°C et entre 20-30°C en hiver, variation saisonnière de 20°C. L'effet de la latitude les hivers deviennent de plus en plus froids,
Précipitations	Pluies rares, torrentielles par moments,
Humidité	réduite entre moins 20% après midi à plus de 40% la nuit,
Conditions célestes et rayonnement	ciel clair pour une grande partie de l'année, mais les vents sable et les tempêtes sont fréquents, arrivant généralement les après midis. Rayonnement solaire intense augmenté par les rayons réfléchit par le sol,
Végétation	extrêmement clairsemée,
Vents	généralement locaux.

(Source: Mazouz Said, 2004)

II-1-4-1* Climat de Guelma

Guelma, ville du nord-est algérien, se situe entre 36° 28'de latitude nord et 7° 25' de longitude est. Elle occupe une position médiane entre le nord, les hauts plateaux et le sud du pays. Limitrophe de six wilayates: Annaba au nord, El Taref au nord est, Souk Ahras à l'est, Oum El Bouaghie au sud, Constantine à l'ouest et Skikda au nord ouest Fig-II-9-.

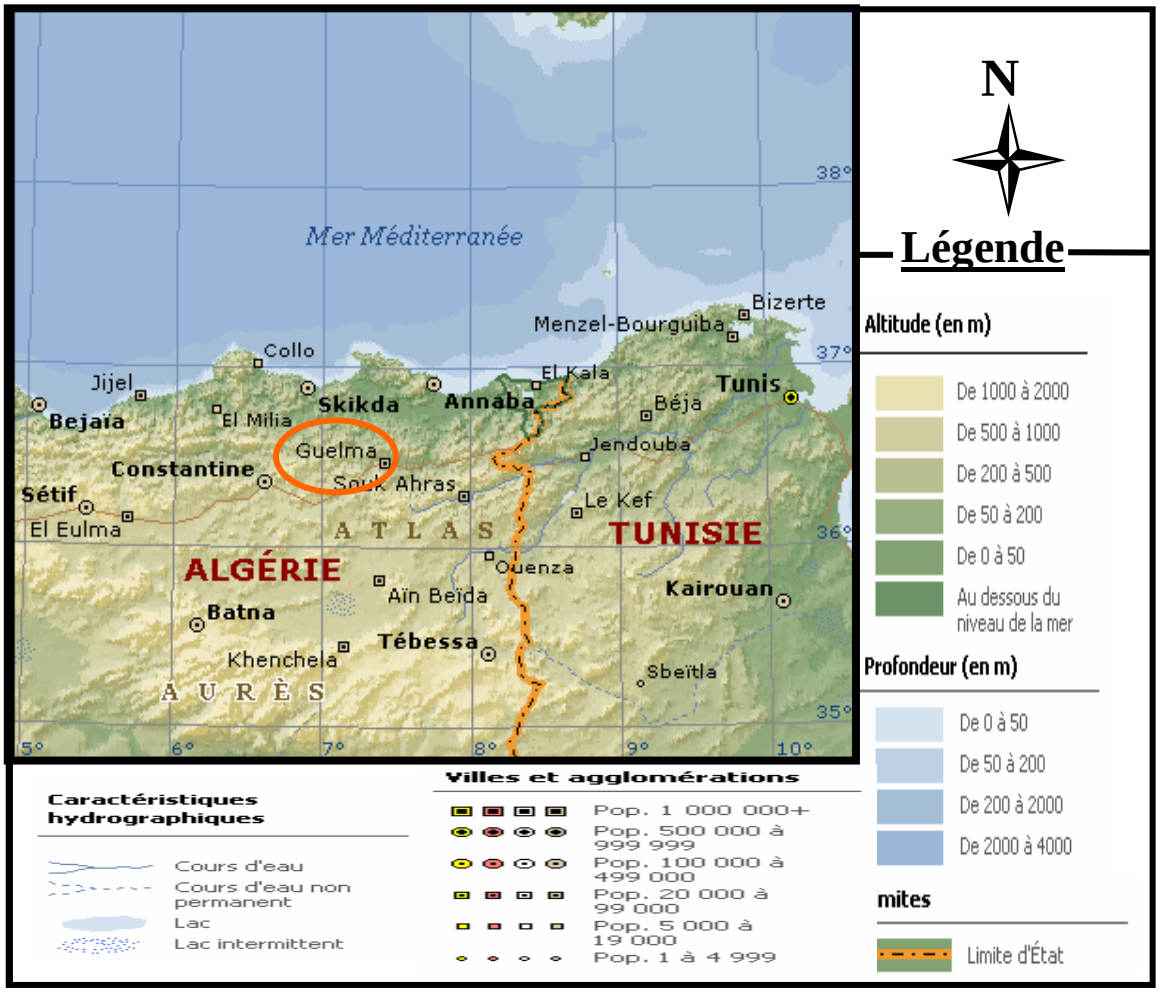


Fig-II-9- Situation géographique de la ville de Guelma (Source: Encarta, 2005, réadapté par auteur)

Le climat de Guelma est celui de l'arrière littoral montagne (Zone B). Déterminé par des hivers plus froids et plus longs et des étés chauds et moins humides que ceux du littoral. L'interprétation des données météorologiques de Guelma sur une période de dix ans, et l'établissement de son diagramme solaire s'avèrent utiles pour mieux caractérisé son climat. A rappeler que pour définir les climats on devra s'appuyer constamment sur les données moyennes et extrêmes. D'où peuvent se mesurer les amplitudes moyennes des températures annuelles entre le mois le plus chaud et le mois le pus froid, et amplitude des extrêmes absolues de températures quotidiennes (entre le maximum diurne et minimum nocturne)[18].

[18] ESTIENNE. Pierre et GODARD. Alain, __ *Climatologie*, __ Paris: Edition Armand Colin, 1970, p11.

L'interprétation des données météorologiques de Guelma, période 95-2004 Fig-II-10- fait ressortir que la température annuelle moyenne est de 17.9°C avec 27. 7°C en août (le mois le plus chaud) et 10°C en janvier (le mois le plus froid). Les extrêmes absolus enregistrés varient entre -3.5°C au mois de janvier à 47°C au mois de juillet. Les amplitudes mensuelles ne sont pas très contrastées comparées aux amplitudes annuelles qui dépassent les 31.6°C. Ce qui distingue la période chaude de la période froide. L'amplitude diurne variée entre 15.4 et 20.4°C pendant les saisons fraîches.

La moyenne mensuelle de l'humidité relative dépasse les 68.3 % avec une moyenne maximale de 94.2% et une moyenne minimale de 29.1%. Les valeurs des humidités moyennes maximales laissent penser à un climat humide ou sub- humide. D'après le calcul d'indice d'aridité de Martonne : Im = P/ Tm +10

Im = 24.70, où 20 < IDM < 30

Donc le climat de Guelma est un climat sub- humide.

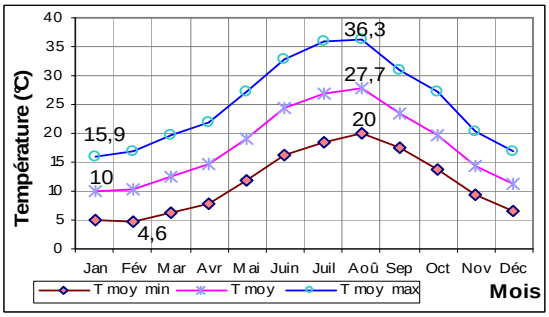
L'insolation totale mensuelle est considérable. D'une moyenne de 243.3 h avec un minimum 160.9 h enregistré en janvier et un maximum 353 h enregistré en juillet.

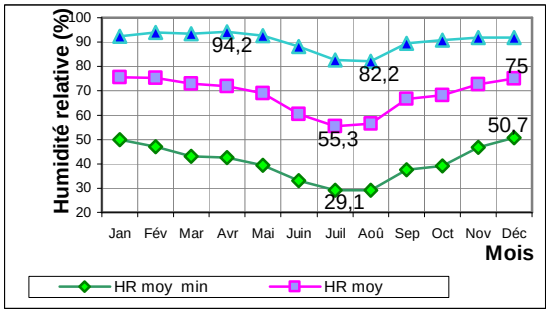
Les vents prédominants à Guelma sont d'une vitesse moyenne qui varié de 1.46 à 2m/s pour une moyenne annuelle de 1.80m/s. Mais il est enregistré 36.2 j/an de Sirocco.
Les vents à Guelma sont de diverses directions. Ceux de nord-ouest avec une moyenne de 23.77%, il atteignent leur maximum au mois de décembre et leur minimum au mois de juillet avec 10.36%. A l'inverse les vents nord-est sont plus fréquents au mois de juillet, avec un maximum de fréquences entre les mois d'octobre et février. Enfin le sirocco se manifeste au nord plus qu'au sud de la région, surtout en juillet de 6 à 7 jours en moyenne. C'est un vent chaud et desséchant très néfaste pour les cultures.

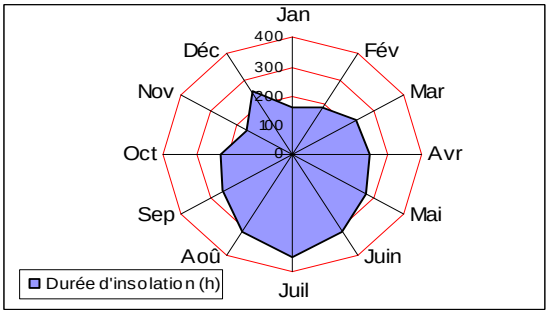
L'évaporation mensuelle atteint un maximum de 186.8mm au mois de juillet et un minimum de 49.6mm en février.
L'évapotranspiration potentielle (ETP) calculée est de l'ordre de 994 mm.[19]

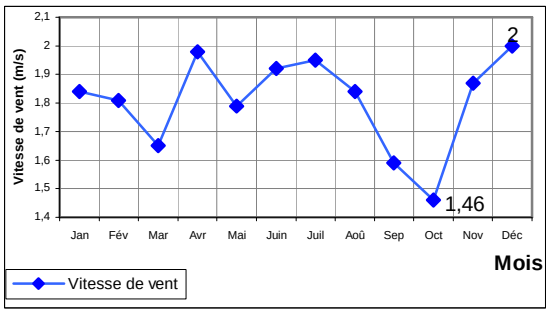
La répartition des précipitations à Guelma est marquée par une durée de sécheresse durant l'été, avec un minimum de 2.6mm enregistré en juillet. Le reste des saisons est marqué par des précipitations considérables. Le total annuel est de 688.3 mm avec un maximum de 137.7 mm enregistré en décembre. Près de 57% de la pluviométrie est enregistrée pendant la saison humide.

[19] ZEDDOURI. Aziz, *Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique de la plaine alluviale de Guelma (Essai de modélisation)*, Thèse de magister en hydrogéologie, Université Badji Mokhtar, Annaba 2003, p31-37.









Guelma

Latitude : 36° 28' **N**
Longitude : 7 ° 25' **E**
Altitude : 500m

Température :

Tmoy max = 36,3 °C en Août

Tmoy min = 4,6 0°C en Février

Humidité :

HR moy max = 94,2 % en Avril

HR moy min = 29, 1% en juillet

Insolation :

Insola max : 353 h en juillet

Insola min : 160,9 h en janvier

Vents :

V moy max =2 m/s en décembre

V moy min = 1.46 m/s

Précipitation:

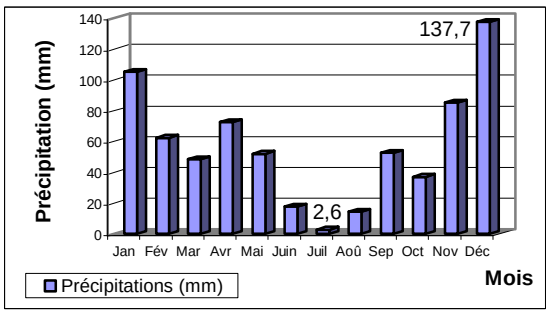
Précip max=137,7mm en décembre

Préci min=2,6mm en juillet

Evaporation :

Eva moy max =168,8mm en juillet

Eva moy min =49,6mm en février



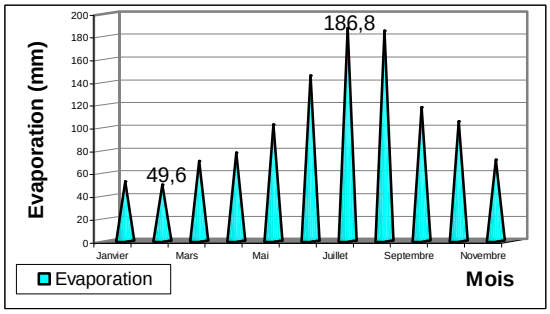


Fig-II-10- Interprétation des données météorologiques de Guelma: période 95-2004

(Source: Météo, 2004, réadapté par auteur)

II-1-4-1*a- Diagramme ombrothermique de Guelma :

Le diagramme ombrothermique de Guelma Fig-II-11-, fait distingué deux périodes. La première froide et humide où la courbe de précipitations est au dessus de celle des températures. La seconde est considérée chaude et sèche. La période humide débute d'octobre à avril et la période sèche s'étale de mai à octobre.

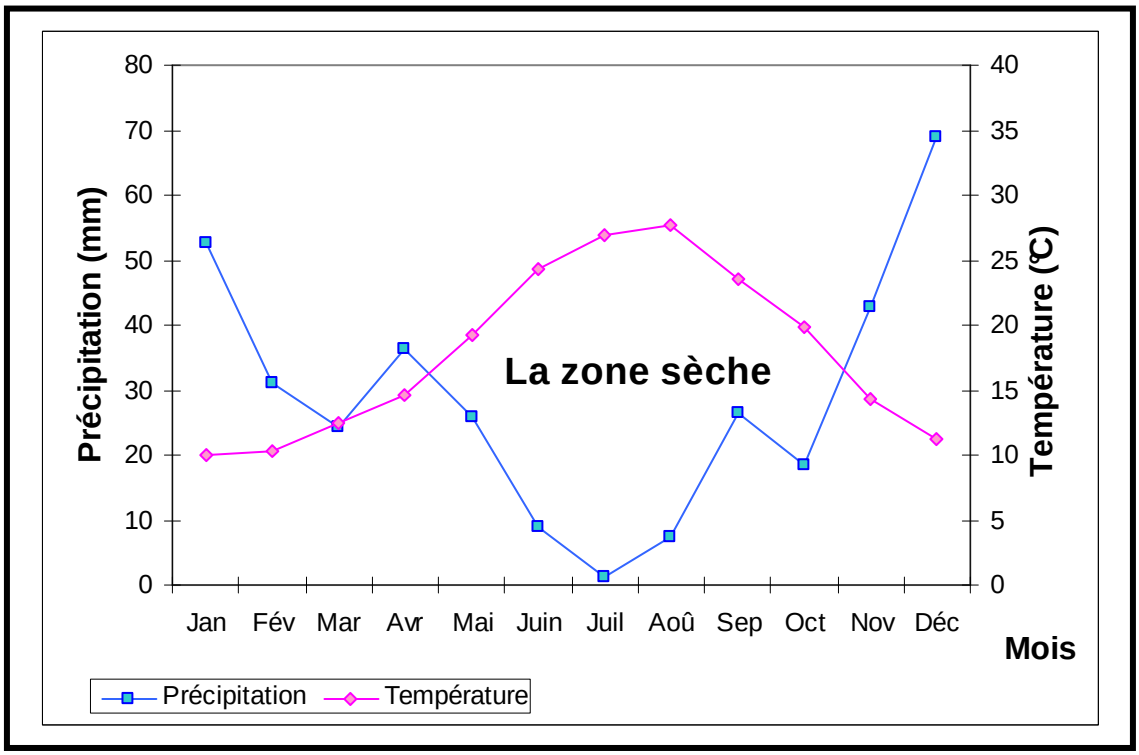


Fig-II-11- Diagramme ombrothermique de Guelma (Source : Auteur)

Pour ce qui est de l'enneigement, il est enregistré 12,7 j/an à l'une des stations (Ain Larbi) et s'il neige sur les principaux sommets, les risques sur les plaines sont minimes. Quant au nombre de jours de gelées blanches, il est de l'ordre de -11 j/an à la station de Guelma et-33,5 j/an à la station de Ain Larbi. Par ailleurs, il est relevé 2.2 j/an de grêle à la station de Guelma et 3.6 j/an à la station de Ain Larbi.

II-1-4-1*b- Diagramme solaire de Guelma :

Afin de connaître la trajectoire annuelle apparente du soleil dans la ville de Guelma, on a procédé au calcul des hauteurs et des azimuts solaires. Les valeurs calculées le 21 de chaque mois sont indiquées au tableau -II-4- ci-dessous. (Voir annexe -I-).

Tableau -II-4- Hauteur et azimut du soleil à « Guelma latitude 36°.28' »

Heurs	Angle	21Juin	21 Mai et 21 juillet	21Avril et 21Août	21Mars et 21Sept	21Fev et 21Octo	21janv et 21Nov	21Déce
12	H	77°16'	74° 16'	65° 47'	53° 52'	41° 97'	33° 28'	30° 27'
	A	0	0	0	0	0	0	0
13	H	71° 77'	69° 44'	61° 98'	50° 95'	39° 92'	31° 53'	28° 61'
	A	49° 38'	43° 68'	32° 64'	24° 25'	19° 29'	16° 53'	15° 69'
14	H	61° 15'	59° 40'	53° 51'	44° 11'	35° 66'	26° 58'	23° 89'
	A	71° 92'	66° 98'	55° 40'	44° 13'	37° 04'	31° 59'	30° 11'
15	H	49° 32'	47° 80'	42° 73'	34° 61'	25° 94'	19° 11'	16° 70'
	A	84° 38'	80° 54'	70° 47'	59° 22'	50° 34'	44° 50'	42° 63'
16	H	37° 25'	35° 75'	31°	23° 64'	15° 90'	09° 85'	07° 72'
	A	93° 64'	90° 78'	81° 55'	70° 97'	61° 83'	55° 45'	53° 30'
17	H	25° 27'	23° 71'	18° 95'	11° 92'	4° 80'		
	A	101°50'	98° 68'	89° 10'	80° 82'	71° 72'		
18	H	13° 62'	11° 92'	6° 92'				
	A	109°27'	106°72'	99° 52'				
19	H	2° 52'	0° 64'					
	A	117°50'	115°15'					
20	H							
	A							
Angle du soleil levant & couchant		**60° 43' 4h 03'**	**64° 32' 4h 17'**	**75° 36' 5h 01'**	**90° 24' 6h 01'**	**104°63' 6h 59'**	**115°67' 7h 43'**	**119°58' 7h 58'**

(Source : Auteur)

Les trajectoires solaires du mois de décembre, novembre ou janvier sont très rapprochées. Le soleil se lève à 7h58' le 21décembre (solstice d'hiver: la plus courte journée de l'année) et se couche à 16h 03'. A midi, il prend une position inférieure à une hauteur de 30°27'et azimut 0. A 16h l'azimut atteint son maximum de 53°30'.

Au 21 juin le soleil occupe une position supérieure à une hauteur maximale de 77°16' à midi. L'azimut atteint son maximum de 117°5'à 19h. Le lever de soleil est à 04h03' (solstice d'été: la plus longue journée de l'année) et le coucher est à 7h58'. Les trajectoires du mois de juin et juillet ou mai sont aussi très rapprochées.

Au 21mars ou le 21 septembre (les équinoxes de printemps et d'automne) le soleil prend une position médiane entre les deux précédentes à une hauteur de 53°52' à midi. L'azimut atteint les 80°82' à 17h Fig-II-12- et Fig-II-13-.

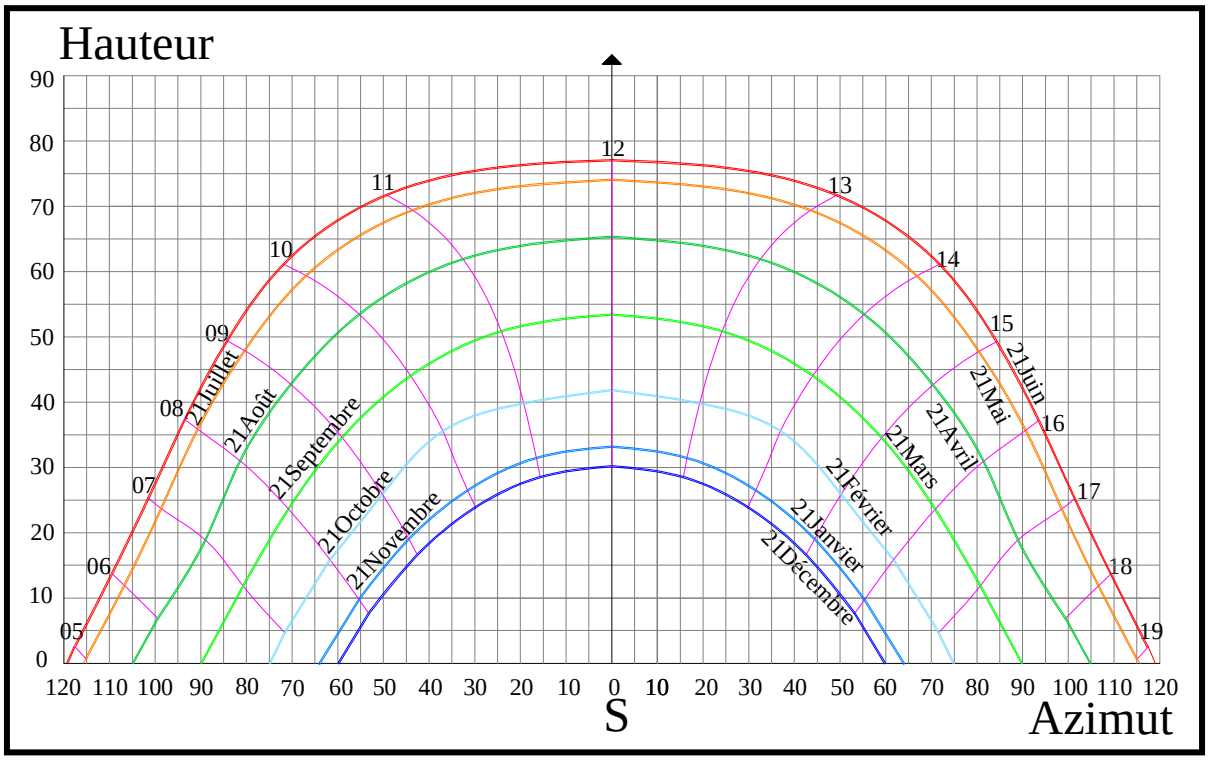


Fig-II-12- Diagramme frontale de Guelma : latitude 36° 28' (Source : Auteur)

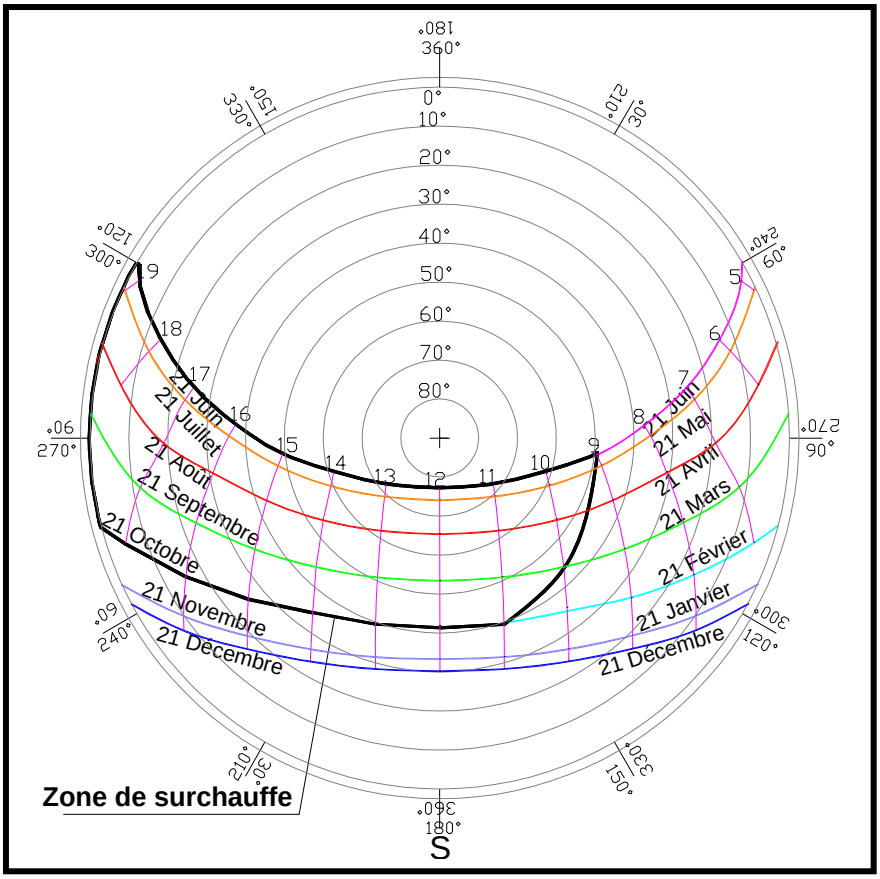


Fig-II-13- Diagramme polaire de Guelma (présentation de la zone de surchauffe en noir)

(Source : Auteur)

II-1-4-1*c- Le diagramme en thermoisoplèthes de Guelma

Ce diagramme met en évidence les variabilités diurnes et saisonnières des températures de l'air. Pour le tracé de ce dernier, on projette d'abord les températures mensuelles maximales et minimales sur la calculatrice des températures horaires. Fig-II-14. Puis on représente sur un tableau les températures pour chaque mois, où on trace les lignes d'égale température qui séparent les espaces d'un seuil de 5°C. En surcharge on présente le lever et le coucher de soleil Fig-II-15-.

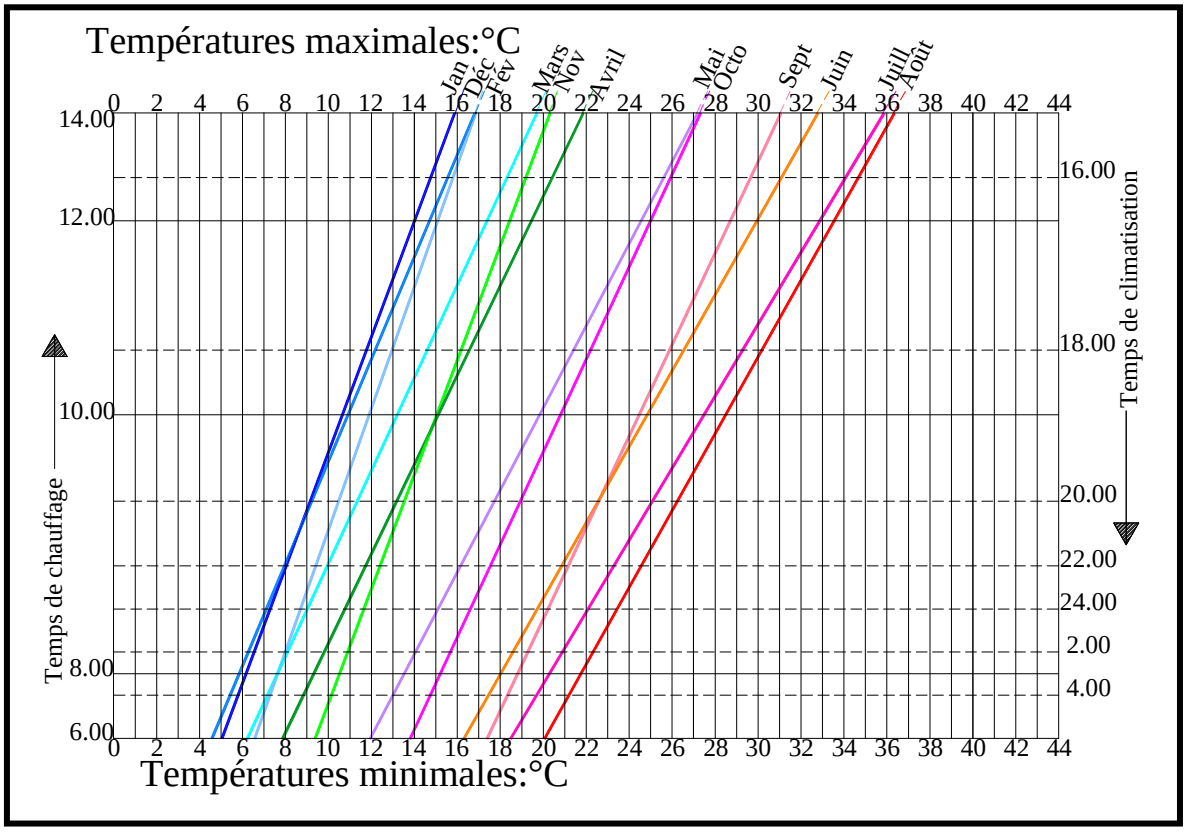


Fig-II-14- Calculatrice des températures horaires (Source : Auteur)

La lecture de l'isotherme de Guelma fait ressortir cinq zones distinctes:

- **Zone de sous chauffe très froide,** très réduite comprise entre 4.6 et 5°C. Elle concerne les mois les plus froids de janvier et février de 5h à 6h du matin.
- **Zone de sous chauffe froide,** comprise entre 5 et 15°C, concerne la saison de l'hiver de décembre à février, de 16h à 00h et de 1h à 12h et la saison de printemps de mars à mai de 20h à 00h et de 1h à 11h.
- **Zone de confort,** définie par la température neutre de 23.14°C, comprise entre **20 et 26.14**°C d'avril à novembre.
- **Zone de chauffe,** comprise entre 30et 35°C concerne les mois de juin, juillet, août et septembre de 10h à 18h.

- **Zone de surchauffe :** Comprise entre 35et 36.3°C concerne les mois les plus chauds (juillet et août de 13h à 16h). A savoir que la zone de surchauffe peut se rapportée sur le diagramme solaire frontal ou polaire. Tracée à partir de la limite supérieure de la zone de confort.[20] (Voir Fig-II-13-).

Le diagramme peut être résumé en trois zones principales : la zone de sous chauffe qui s'étale durant la saison d'hiver le jour comme la nuit, et la saison de printemps et l'automne uniquement la nuit. La zone de confort, présente en saison d'automne et de printemps le jour et la saison d'été la nuit. Enfin la zone de surchauffe qui dure pendant l'été le matin et l'après midi. Les températures à Guelma comme ailleurs, varient principalement avec le moment de l'année où l'alternance du jour et de nuit permet de définir l'amplitude thermique diurne.

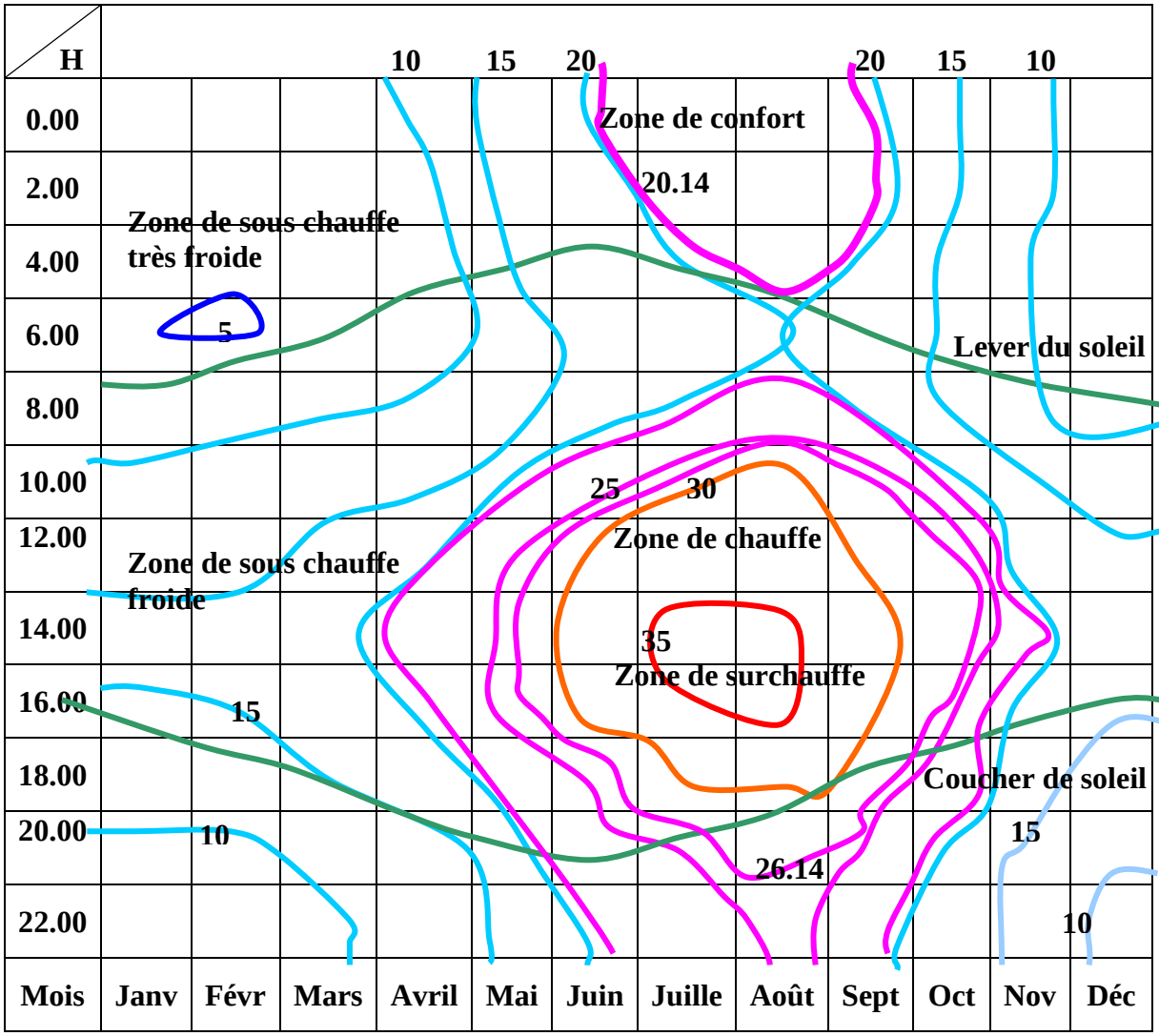


Fig-II-15- Courbes d'égales températures (isopleth) par mois et en heure de Guelma.

(Source : Auteur)

[20] SZOKOLAY. S V, __ *Environmental science handbook for architects and builders*, __ LONDON, NEW YORK , LACASTRE: THE CONSTRUCTION PRESS, 1980, p320.

II-1-5- Microclimats de la ville

Le territoire Guelmois se caractérise par un microclimat sub-humide au centre et au nord, et semi aride vers le sud. La diversité des microclimats est due à l'influence de plusieurs paramètres qui participent simultanément. Surtout à l'élévation du taux d'humidité comme son rapprochement par rapport à la mer (60Km), la présence de oued Seybouse, le massif forestier intense, les sources thermales et les barrages. On donne dans ce qui suit en chiffres l'importance de chaque paramètre, d'après des données recueillies auprès de la D.P.A.T Guelma « monographie 2004 »:

II-1-5-1* Eléments influençant le microclimat:

II-1-5-1*a- Relief: La géographie de Guelma se caractérise par un relief diversifié avec une importante couverture forestière Fig-II-16-. Il se décompose comme suit :

Montagnes : 37,82 % dont les principales sont :

1 – Mahouna (Ben Djerrah) : 1.411 M d'Altitude

2 – Houara (Ain Ben Beidha) : 1.292 M d'Altitude

3 – Taya (Bouhamdane) : 1.208 M d'Altitude

4 – D'bagh (Hammam Debagh) : 1.060 M d'Altitude

Plaines et Plateaux : 27,22 %

Collines et Piémonts : 26,29 %

Autres : 8,67 %

Fig-II-16- Différents éléments influençant le microclimat de Guelma (Source: D.P.A.T, 2004)

II-1-5-1*b- Hydrologie: Le territoire de Guelma comporte globalement 04 zones hydrogéologiques distincts. La zone des plaines de Guelma et Bouchegouf, dont les nappes captives s'étendent sur près de 40 Km le long de la vallée Seybouse. Elles enregistrent un débit de 385 l/s. Elles constituent les plus importantes nappes de la Wilaya.

Potentialités hydrauliques: 264,96 Million m³ d'eaux mobilisables dont :

- **Eaux souterraines**: 04 sous bassins versants (hydriques) et 997 points d'eau opérationnels totalisant un potentiel total de 40,6 Millions m3/an.

- **Eaux superficielles**: 224,86 millions m³ se répartissant comme suit :

  * Barrage de Bouhamdane : 220 millions m³ Photo-II-1- ;

  * Barrage de Medjez-Beggar (Ain Makhlouf): 2,86 millions m³ Photo -II-2- ;

  * Important nombre de retenues collinaires : 1,578 millions m³ ;

Principaux Oueds :

1/ O. Seybouse: Traverse la plaine Guelma - Bouchegouf sur plus de 45 Km du sud au nord. Son apport total est estimé à 408 millions m³/an.

2/ O. Bouhamdane: Prend sa source à l'ouest; d'un apport de 96 millions m³/an.

3/ O. Mellah: Provenant du sud-est; d'un apport total de 151 millions m³/an.

4/ O. Charef: Prend sa source au sud; d'un apport total de 107 millions m³/an.

Photo-II-1- Barrage de Bouhamdene

(Source:Direction de la pêche et des ressources halieutiques de Guelma)

Photo-II-2- Barrage de Medjaz El Bgar

(Source: Direction de la pêche et des ressources halieutiques de Guelma)

II-1-5-1*c- L'agriculture: D'une vocation essentiellement agricole, Guelma recèle un important potentiel. Avec 266.000 Ha de surface agricole totale, soit 72,15 % de la superficie totale. La surface agricole utile est de prés de 186.122.Ha.

Une superficie de pacages et parcours de 53.473 ha, soit 14,50 % de la superficie totale de la wilaya et 20,10 % de la SAT Les terres improductives de 26.405 ha, soit 7,16 % de la superficie totale de la Wilaya et 9,92 % de la S.AT. Fig-II-17-.

La superficie irrigable est près de 17.343 Ha, soit 9,35 % de la SAU Photo-II-3-.

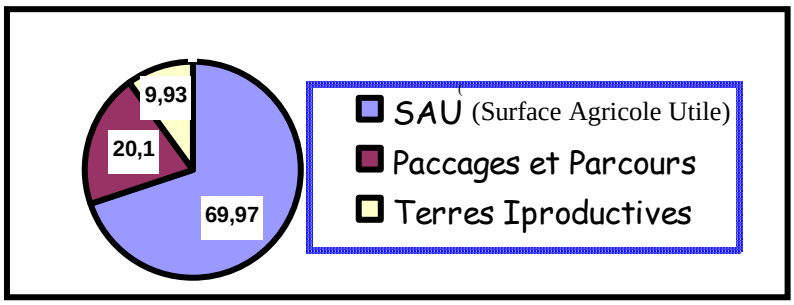


Fig-II-17- Répartition de la superficie agricole/SAT (Source:Services agricoles de Guelma, 2004)

Photo-II-3- Périmètre irrigué (Belkhir) (Source: D.P.A.T Guelma, 2004)

II-1-5-1*d- Potentialités forestières : La superficie de couverture forestière totale est de 106.145 ha, soit un taux de 28,79 % de la superficie de la Wilaya. Le paysage forestier est discontinu et hétérogène confiné dans des massifs répartis d'ouest en est. Les grands espaces de terrains à vocation forestière sont dans la partie sud-est. Un important potentiel de bois (chêne zen et liège aux forêts de Béni Salah à Bouchegouf Photo-II-4-, de Houara à Ain Ben Beida et Djeballah, Mahouna à Ben jerrah Photo-II-5- et Béni Medjeled à Bouhamdane) totalisant prés de 19.771 ha de forêts et moyennant une production de l'ordre de 510,10 stères de chêne zen et chêne liège et de 345 m^3 de bois.

II-1-5-1*e- Les sources thermales: Les plus importantes sont hammam Debagh Photo-II-6- hammam Ouled Ali, hammam N'bails et hammam Belhachani.

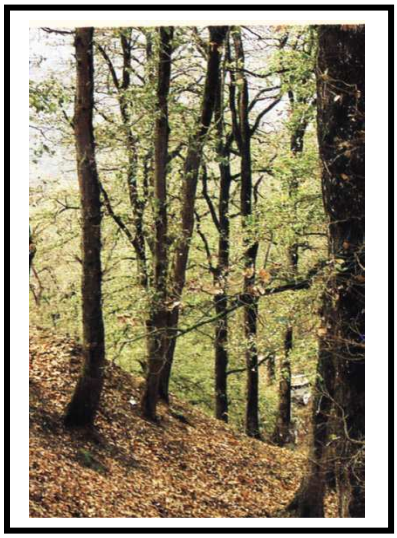


Photo-II-4- Forêt de Beni Salah (Source: D.P.A.T Guelma, 2004)

Photo-II-5- La montagne de Mahouna (Source: Photo prise par les s.d. forêts Guelma, 2005)

Photo-II-6- La cascade "thermale" de hammam Debagh

Conclusion

D'après l'analyse climatique et microclimatique de Guelma, il en résulte de dégager les conditions extérieures aux quelles elle est soumise. Avec un climat sub humide en général, caractérisé par deux périodes distinctes: La période froide, pluvieuse et la période chaude, sub humide. Une grande partie de l'année présente des conditions climatiques rigoureuses. Vu que les températures sont très élevées en été, et très basses en hiver. La zone de confort, où la température neutre ne concerne que les mois d'avril à novembre.

D'autre part un paramètre climatique se distingue dans la région de Guelma, l'humidité relative avec un taux considérable durant l'année. Ce qui lui donne ce caractère de la sub humidité. Divers facteurs participent à son élévation: Le rapprochement de la mer, le relief diversifié avec les montagnes, dont on retient essentiellement une importante couverture forestière (régénérée surtout après l'indépendance du pays) ; La vocation agricole de la région avec un grand périmètre irrigué ; Les potentialités hydrauliques de la ville en eaux souterraines et eaux superficielles (barrages, retenues collinaires) ; Les principaux oueds, le plus important «Seybouse » traversant la plaine de Guelma sur plus de 45 Km ; Et en fin les multiples sources thermales que recèle la ville.

Il se révèle en plus de cette étude climatique et microclimatique la nécessite d'une étude bioclimatique de la ville. Cela afin de déceler les techniques de contrôle microclimatique et de conception architecturale capables de créer les conditions de confort intérieur dans l'habitat.

On se posant la question si le comportement humain dépend-il de l'ambiance climatique extérieure, on n'y trouve pas des réponses satisfaisantes. Si relations existent, elles doivent être complexes et un effet direct du climat n'est visible que dans les cas extrêmes. La notion de « confort dans l'habitat» évoquée dans la deuxième partie de ce chapitre est la réponse à la question posée.

II-2- Confort et analyse bioclimatique

II-2-1- Confort dans l'habitat

L'homogénéité de la température ambiante, le degré hygrométrique, et la vitesse de l'air, …sont autant des paramètres qui conditionnent le bien être dans la maison. « *Le confort dont la formule expressive et synthétique souvent entendue est "être bien chez-soi", le confort doit permettre ce bien être* ».[21] C'est l'état de l'épanouissement morale ou physique de l'individu. En fait le mot confort provient du mot anglais « comfort », apparue en 1816, contribue à la satisfaction et commodité de la vie matérielle. La crise de l'énergie à certain temps a fait passer au premier plan la réduction des coûts énergétiques. Mais à nos jours l'assurance du confort visuel, olfactif, acoustique et thermique ou hygrothermique est devenue l'instinct prépondérant pour tous les décideurs de la conception de l'habitat.

II-2-1-1* Le confort thermique :

Objet de la présente recherche, le confort thermique est la sensation d'équilibre et de contentement exprimé par l'individu envers les conditions thermiques. Définition donnée par ASHRAE♣ en 1992: "*Thermal Comfort is that condition of mind that expresses satisfaction with the thermal environment*". La création de la balance thermique permet ainsi l'économie de l'énergie au métabolisme. Selon la norme ISO 10551♣, l'homme perçoit et interprète son état thermique en fonction de ses préférences individuelles. Il porte un jugement qui peut être: perceptif, évaluatif, préférentiel… Donc le confort thermique ne se résume pas à des paramètres physiques, mais il fait aussi intervenir des données subjectives.

Le confort thermique est le résultat d'un enchaînement successif de plusieurs phénomènes qui relèvent de différentes disciplines. En génie climatique, il s'agit de déterminer les effets du climat extérieur sur le bâtiment pour le dimensionnement des équipements. Les thermiciens font des études poussées pour connaître les champs de température et l'indice de confort. Tandis qu'en thermo- physiologie, on étudie d'avantage les effets de l'environnement thermique intérieur sur le corps humain pour le calcul des grandeurs thermo- physiologiques. En fin en psycho- sociologie, on s'intéresse à l'évaluation du climat intérieur par l'être humain grâce à l'interprétation en terme d'acclimatement qui est la composante subjective [22] Fig-II-18-.

---

[21] BENNADJI. Amar, __ *Adaptation climatique ou culturelle en zones arides : Cas du Sud -Est algérien*, Thèse de doctorat, __ Université AIXE MARSEILLE 1, 1999, p 17.

♣ASHRAEA: American Society of Heating Refrigerating and Air conditionnig Engineers.

♣ ISO 10551 (International Standard Organization) : Evaluation de l'influence des ambiances thermiques à l'aide d'échelle de jugements subjectifs.

[22] Thelier. F et al, _ *Les outils d'évaluation du confort thermique*, __ Journée SFT/ CSTB, 04/02/2003 Nantes

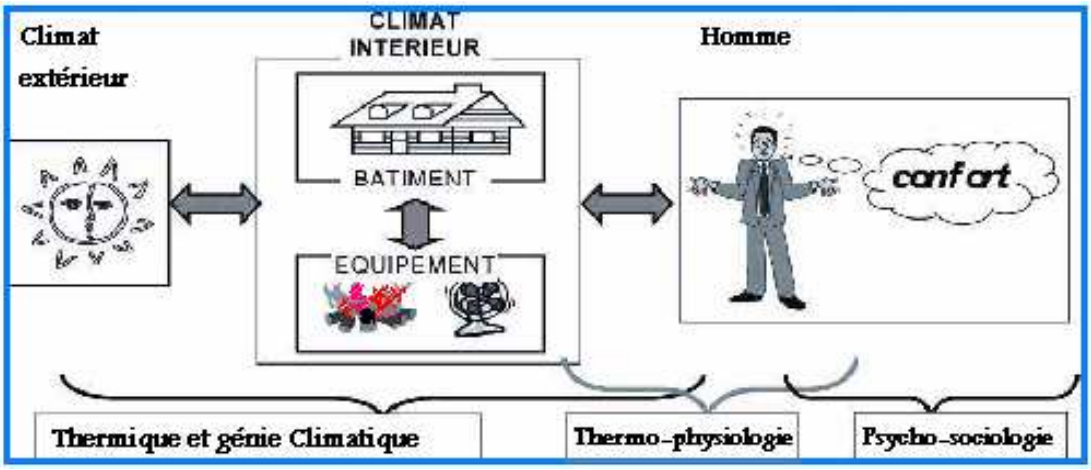


Fig-II-18- Enchaînement des divers phénomènes intervenant dans les caractéristiques du confort thermique (Source: Thelier et al, 2003)

II-2-1-1*a- <u>Echange de chaleur entre l'homme et son environnement</u> :

L'homme possède deux modes de régulation vis-à-vis des conditions extérieures Le premier est involontaire exprime la régulation physiologique. Le second est plutôt volontaire manifeste la régulation comportementale. Ces deux modes peuvent avoir lieu simultanément et être antagonistes.

II-2-1-1*a-1/ La régulation physiologique :

Le corps humain dispose d'un sens thermique grâce à des détecteurs nerveux. Ils permettent de lui informer s'il a chaud ou froid en tout lieu de son corps. A chaque changement de l'ambiance, le corps manifeste des dispositifs d'adaptation aux nouvelles conditions. Le frissonnement, la transpiration, la sudation…sont autant de stratégies métaboliques. Elles assurent la régularisation de la température interne et la préservation du confort thermique. Berger donne une définition objective du corps humain vis-à-vis des phénomènes thermiques: « *L'être humain est un homéotherme (sa température interne, constante, voisine de 37°C) qui, pour assurer son activité et sa vie, fabrique des calories et de l'eau. Il élimine celle-ci par les voies respiratoires ou cutanées. Lorsque son bilan thermique (c'est-à-dire le rapport entre apports et déperditions) est positif, il a recours au processus de la transpiration. Il doit donc évaporer l'eau amenée à la surface de la peau.* » [23] Alors pour garder un bilan thermique neutre, le corps humain doit évacuer vers l'ambiance une quantité de chaleur égale à celle déjà gagnée. Le processus d'échange s'exprime par conduction, convection, rayonnement et évaporation. La Fig-II-19- donne un aperçu du système de thermorégulation humain.

[23] BERGER. X, __ *La climatisation urbaine passée et présente*, 1998, p 128, __ In Ambiances architecturales et urbaines, __ Paris: Editions Parenthèses.

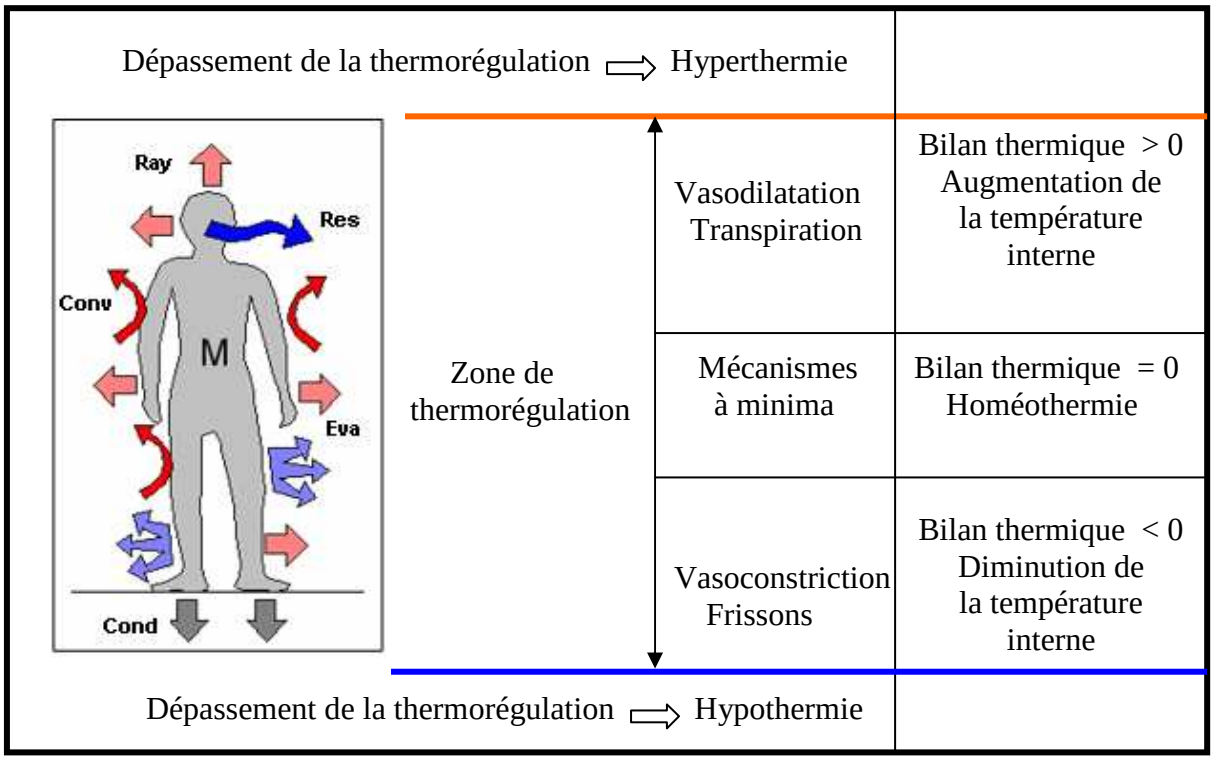
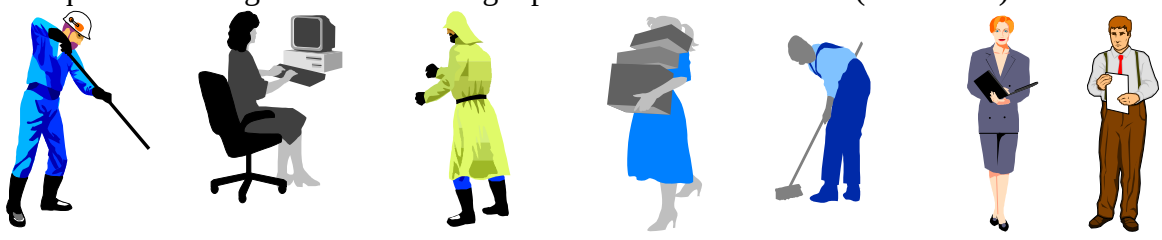


Fig-II-19- Transfert thermique et thermorégulation du corps humain

(Source: CRAM NORD PICARDIE- Centre de mesures physiques -ML-, 2005 et réadapté par auteur)

II-2-1-1*a-2/ La régulation comportementale :

Le bilan thermique peut être modifiable dans une plus large mesure. Soit par les vêtements, la posture, l'activité, .., pour faire face aux agressions climatiques de façon individuelle, ou la création d'enceinte artificielle de manière collective. Les vêtements jouent un rôle de frein aux échanges de chaleur en permettant l'isolation thermique (coefficient d'échanges Iclo♣). Ainsi que l'évacuation de la transpiration avec la perméabilité à la vapeur d'eau (coefficient de perméabilité IL). L'activité physique de sa part permet la production de la chaleur au métabolisme. S. Robinson et E.S. Turrel affirment qu'il y a une relation importante entre l'effet des vêtements et l'activité physique. Les vêtements apportaient une réduction de 200g/h du taux de sudation au repos. Mais ils n'avaient qu'un effet négligeable avec des sujets effectuant un travail moyen (300Kcal/h) et provoquaient une augmentation de 200g/h pour des travaux sévères (700Kcal/h).



♣Clo : Unité d'isolement vestimentaire correspond à une résistance uniformément répartie sur tout le corps. 1clo = 0.155 m² K/W tenue complète d'hiver pour l'intérieur.

La complémentarité des dispositifs, naturels ou créés par l'homme, assurent au corps le maintien d'une température rigoureusement constante. Le principe de la conservation d'énergie aboutit à l'équation du bilan thermique suivante:

$$\mathbf{H - Ed - Esw - Ere - L = R + C} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 04$$

Avec :

H : métabolisme (M) (varié de 50à 500W/m² selon l'activité, souvent exprimé en met : 1met = 58W/m²)

Ed : perte de chaleur par diffusion de vapeur à travers la peau

Esw : pertes de chaleur dues à la transpiration

Ere : pertes de chaleur latentes dues à la respiration

L : pertes de chaleur sèches dues à la respiration

R : pertes de chaleur par échange radiatif du corps habillé

D'autres aspects physiques peuvent intervenir comme : la température ambiante, l'humidité, la turbulence et la vitesse de l'air, la température radiante, la dissymétrie de rayonnement et le gradient de température vertical. B. Givoni avec son expérience graduée de la sensation de chaleur et du froid, [24] découvrait que l'homme est très sensible aux variations subtiles de température. Les facteurs comme, la vitesse locale de l'air ou la température radiante moyenne de l'enceinte modifient perpétuellement les zones susceptibles de correspondre à l'état de confort thermique.[25] Des expériences montrent que les sujets peuvent ressentir de très petites fluctuations qui affectent la température radiante.[26] Et même une vitesse de l'air de 0.15m/s peut être ressentie comme un courant d'air par un sujet non actif. [27]

ASHARE précise que pour la définition des conditions de confort thermique, un total de six facteurs fondamentaux doit être adressé: le taux métabolique, l'isolation de la vêture (clo), la température de l'air, la température radiante, la vitesse de l'air et l'humidité[28]. Le tableau ci-dessous présente un résumé des valeurs utilisées pour établir les zones de confort :

[24] GIVONI. Baruch, _ *L'homme, l'architecture et le climat,* _ PARIS: Edition du Moniteur, 1978, p72.
[25] DEVAL. J.C, _ *Le confort thermique en climat tempéré,*_Revue de physique appliquée Juillet 1984, Vol.19
[26] OLESEN et al, 1973, _ In *Architecture et volupté thermique*, Editions Parenthèse, 1981, p33.
[27] BONHOMME. André, _ *L'isolation des bâtiments : Conception des projets, Ventilation, Apport solaires Besoins de chaleur, Economies d'énergie,* _ PARIS: EDITION DU MONITEUR, 1986, p31.
[28] ANSI/ASHARE 55-2004, _ In "Bioclimatic buildings for different climates in China", _ Architectural science review volume 48 june 2005, p188-1189.

Tableau -II-5- Résumé de données produisant les zones du confort :

T air (°C)	HR (%)	Tr (°C)	V air (m/s)	Met	Clo
19.6	86	19.6	0.10	1.1	1.0
23.9	66	23.9	0.10	1.1	1.0
25 .7	15	25 .7	0.10	1.1	1.0
21.2	20	21.2	0.10	1.1	1.0
23.6	67	23.6	0.10	1.1	0.5
26.8	56	26.8	0.10	1.1	0.5
27.9	13	27.9	0.10	1.1	0.5
24.7	16	24.7	0.10	1.1	0.5

(Source: ASHARE 55-2004)

II-2-1-2* Les outils d'évaluation du confort thermique :

Diverses recherches ont été entamées pour connaître les limites du confort thermique sous forme d'indices et diagrammes bioclimatiques. Débutant en 1923 par l'établissement de la température effective 'ET index' par F. Houghton et C. Yaglou. Cet indice indique la sensation thermique après une exposition aux paramètres climatiques. En 1953 le premier « diagramme bioclimatique » a été proposé par V. Olgay. Avec la vitesse de l'air nécessaire pour établir le confort en relation avec l'humidité et le refroidissement par évaporation Fig-II-20-.

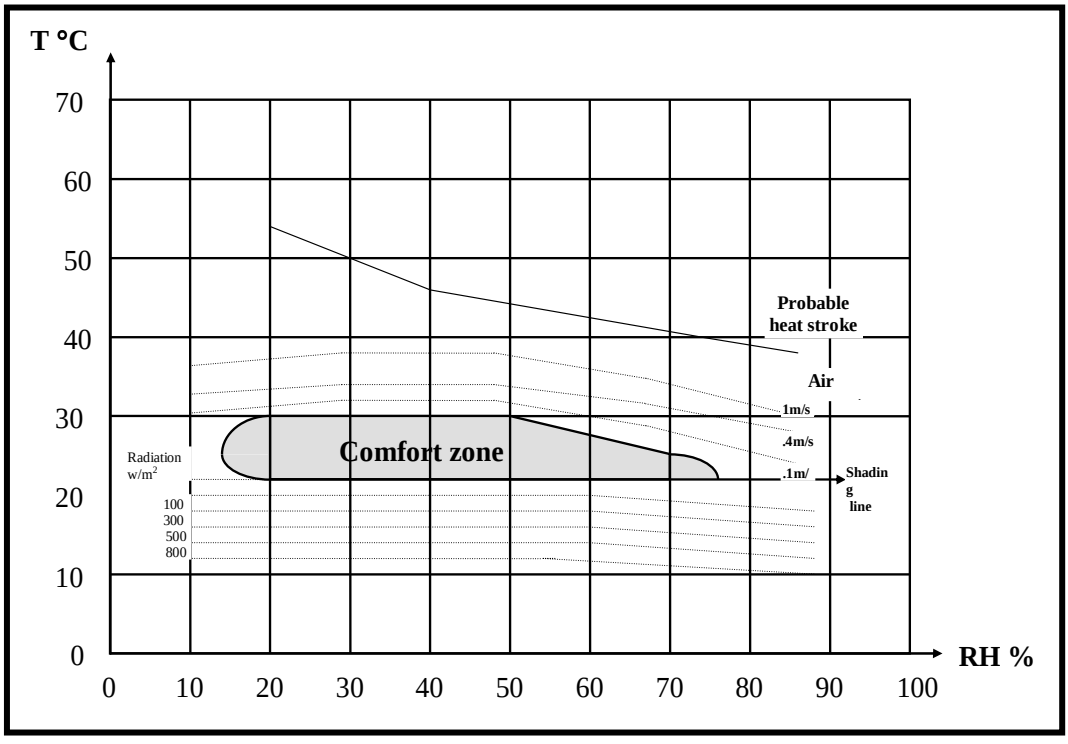


Fig-II-20- Diagramme bioclimatique d'Olgay (Source: Olgay, 1953)

Par la suite ASHRAE a présenté une zone de confort d'été et d'hiver sous forme de température effective. L'outil est resté en application jusqu'à 1961 où d'autres recherches en 1970 ont abouti à la détermination de la température neutre par M. Humphrey, dont la formule est :

$$Tn = 11.9 + 0.534\ T0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 05$$

Avec

Tn : La température neutre en °C.

T0 : La température extérieure moyenne du mois en question en °C.

A l'encontre de la méthode d'Olgay qui est plutôt recommandée pour assurer le confort extérieur en climat chaud et humide. B. Givoni en 1978 a établi un diagramme psychrométrique où il a exprimé les techniques et les dispositifs architecturaux à utiliser pour établir le confort intérieur Fig-II-21-.

Or, les diagrammes et les outils proposés jusqu'ici ont été critiqués en 1980 par Evans, M et Szokolay, SV à cause du problème soulevé de l'incohérence entre les résultats du confort thermique calculé et le confort réel perçu par les sujets.

En 1981, Auliciems est arrivé à déterminer une nouvelle formule de la température neutre, en révisant celle de M. Humphrey, dont la formule est :

$$Tn = 17.6 + 0.31\ T0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 06$$

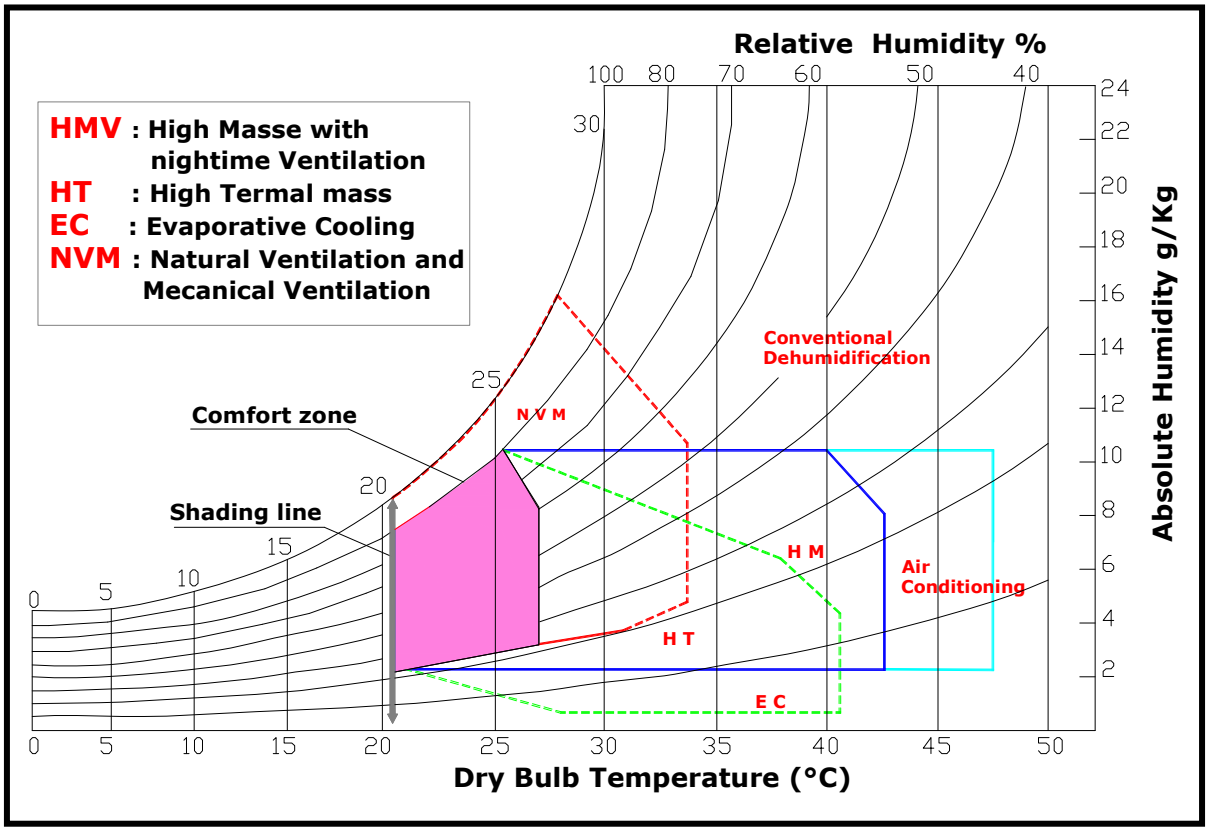


Fig-II-21-Diagramme bioclimatique de Givoni (Source : Givoni 1978, et réadapté par auteur)

En 1983, Koenigsberger et al ont élaboré la méthode dite « Forward Analysis » ou analyse préalable. Basée sur les tables de Mahoney pour l'établissement des principes de conception avec une analyse climatique préalable.[29]

En 1984, la norme internationale ISO 7730♣ a suggéré d'estimer les ambiances thermiques modérées utilisées en habitat et le travail dans les bâtiments à l'aide de deux indices. Le premier PPD♣ fournit un avis statique moyen d'appréciation du confort de l'ambiance. Le second PMV♣ indique le nombre de divergents Fig-II-22-.

L'indice PMV-PPD a été développé à partir du calcul d'un bilan thermique simplifié du corps humain dans un état proche du confort et de relations empiriques établies grâce à une grande base de données expérimentales de P.O. Fanger de 1970.

La norme ISO 7730 a déterminé ainsi la température opérative en fonction des conditions climatiques, l'habillement et l'activité du sujet Fig-II-23-.

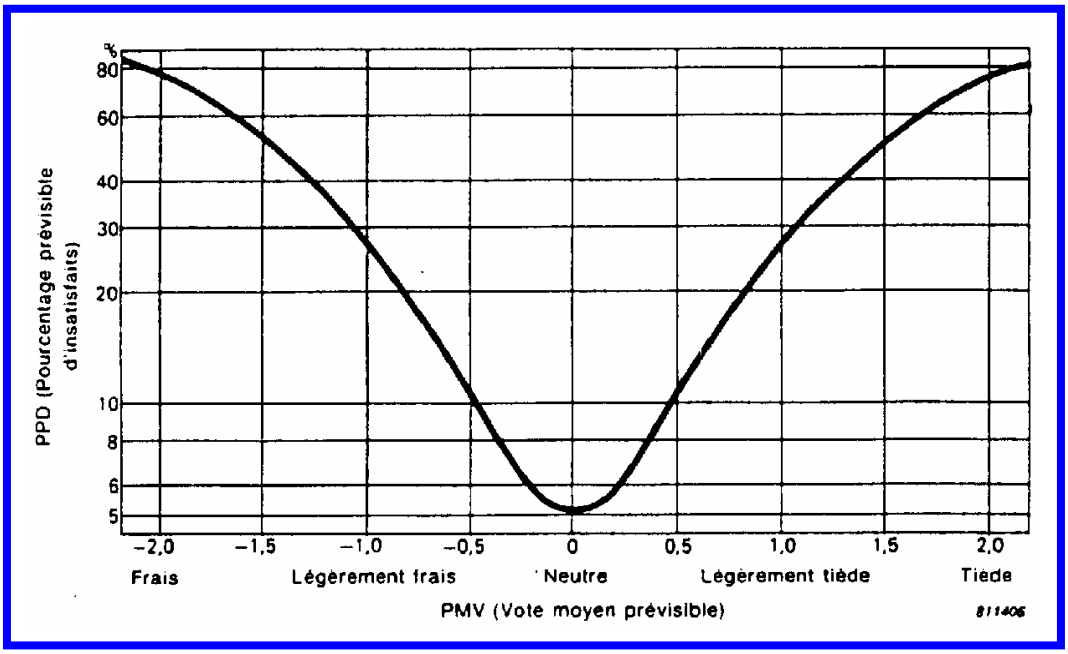


Fig-II-22- Indice: PMV-PPD (Source : Norme SN EN ISO 7730)

[29] KOENIGSBERGER et al, *Climatic disign*, London, New York: Edition LONGMAN 1974, p 306.

♣ ISO 7730: Ambiances thermiques modérées- Détermination des indices PMV et PPD et spécification des conditions de confort thermique. Zone de confort: -0,5 < PMV < +0,5 moins de 10 % d'insatisfaits

♣ PPD: Predicted Percentage Dissatisfied (vote moyen prévisible)

♣ PMV: Predicted Mean Vote

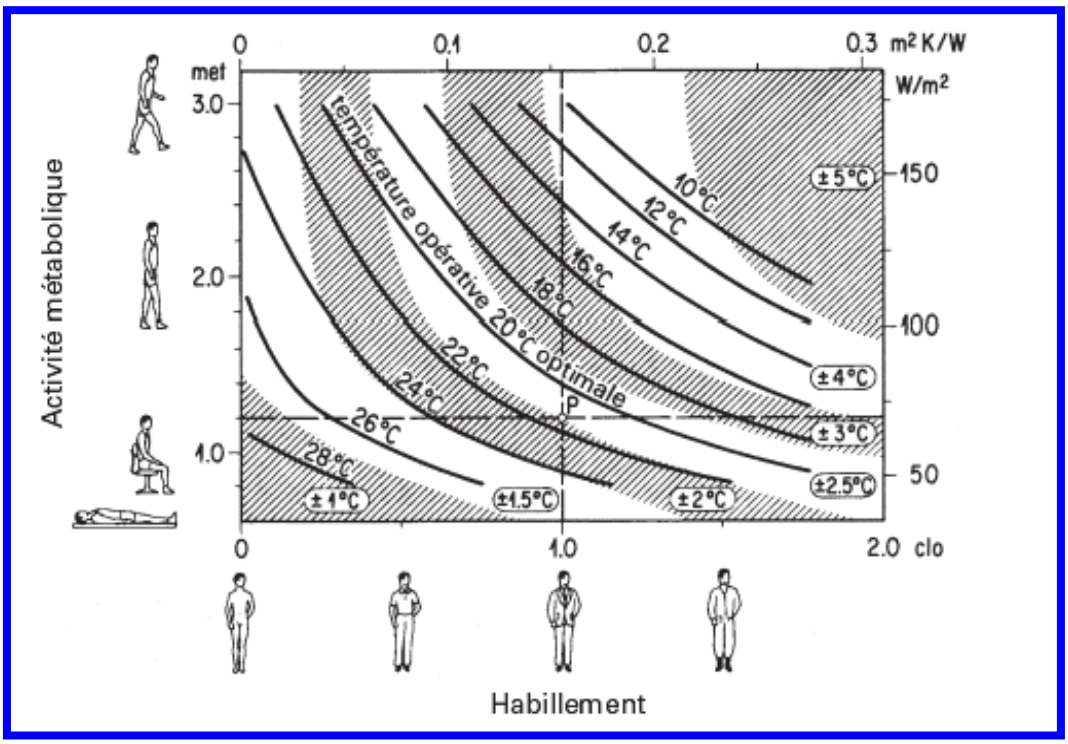


Fig-II-23- Température opérative optimale en fonction de l'activité et de l'habillement

(Source : Norme SN EN ISO 7730)

[Activité légère principalement sédentaire. Les surfaces ombrées indiquent les zones de confort]

En 1986 Depecker. P a proposé une méthode d'évaluation des ambiances habitées et le repérage de la qualité thermique en dégageant des critères permettant la comparaison des ouvrages. Affirmant que « *de nombreuses études sur le confort thermique ont été réalisées pendant les trois dernières décennies. Toute fois celles-ci sont souvent académiques, aboutissant à une notation binaire (ambiance confortable ou non confortable) sans nuance, et donc difficilement exploitables directement par les hommes de l'art, ingénieurs ou architectes.*» [30]

En 1986 aussi le CIBSE ♣ a donné la formule de la température résultante :

$$Tres = tr + ta\sqrt{10v} / 1 + 10v \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 07$$

Avec

v : Vitesse de l'air
ta : Température intérieure de l'air ambiant
tr : Température moyenne de rayonnement

Pour une situation calme : Tr = (t a + t paroi) /2

[30] DEPEKECKER. Patrick, _ *Maîtrise des ambiances habitées et repérage de la qualité thermique*, _ Annales de l'I.T.B.T.P N° 443 Mars - Avril 1986. Série Théories et méthodes de calcul 283.

♣ CIBSE : Characted Institute of Building Services Engineers.

Au cours de la même année 1986, Watt a suggéré une zone de confort élargie « Extended Comfort Zones ECZ », dont la température varie entre 26.7 à 31.1°C et l'humidité entre 20 et 80 %.

Jusque là, les indices thermiques et diagrammes élaborés ont été considérés comme universelles et applicables pour tous type d'habitat dans divers zones climatiques. Mais l'exclusion des dimensions culturelles, sociales, économiques et climatiques dans la définition des limites de la zone de confort a conduit à une exagération dans la définition des besoins de chauffage et de climatisation, affirmé par R.J De Dear et G.S Brager en 1998. Selon J.F Nicole les limites de la zone de confort acceptées par une population donnée peuvent être estimées trop chaudes ou trop froides pour une autre.
La recherche affirme aussi que ces méthodes appliquées pour la perception du confort hygrothermique *« ne sont pas valables, mais elles sont générales. Elles sont en même temps applicables pour le climat de Bou-Saâda, de Constantine, de Biskra, de Marrakech, du sud de la France durant l'été, du Caire et du Dama. Alors qu'il existe des différences dans le vécu de chaque ville, selon ses conditions socio-économiques, culturelles et climatiques particulières. C'est ainsi que le froid calculé dure plus longtemps que celui perçu par les sujets et la chaleur calculée est largement inférieure à celle perçue.* »[31]

Actuellement, la recherche sur le confort thermique suit deux approches distinctes. La première « approche via le bilan thermique » se base sur l'analyse physique, et physiologie du système homme environnement. La deuxième « approche adaptative » fondée sur l'analyse statique des résultats du confort thermique déclaré en conditions réelles.

En conditions homogènes et stationnaires dans la première approche, le calcul ramenant à un indice unique les variables caractérisant l'individu et l'ambiance (PMV, WBGT♣,….). Diverses versions de ces indices existent, chaque utilisateur faisant des modifications pour prendre en compte un phénomène nouveau. Ils sont également régulièrement contestés (exemple la Norme ASHRAE 02).

En conditions hétérogènes et stationnaires, le nombre de personnes insatisfaites est déterminé grâce à des votes exprimés par des sujets soumis à une cause principale d'inconfort, mais dans une ambiance thermo- neutre. Les résultats sont donnés sous forme de courbes Fig-II-24-.

[31] BENHAMOUDA. Linda, __ *Analyse de la perception du confort thermique dans les régions arides et semi-arides. Etude de cas: Bou-Saâda* Thèse de magister, __ Université de Biskra 2001, p233.
♣ WBGT : Wet Bulb Globe Temperature

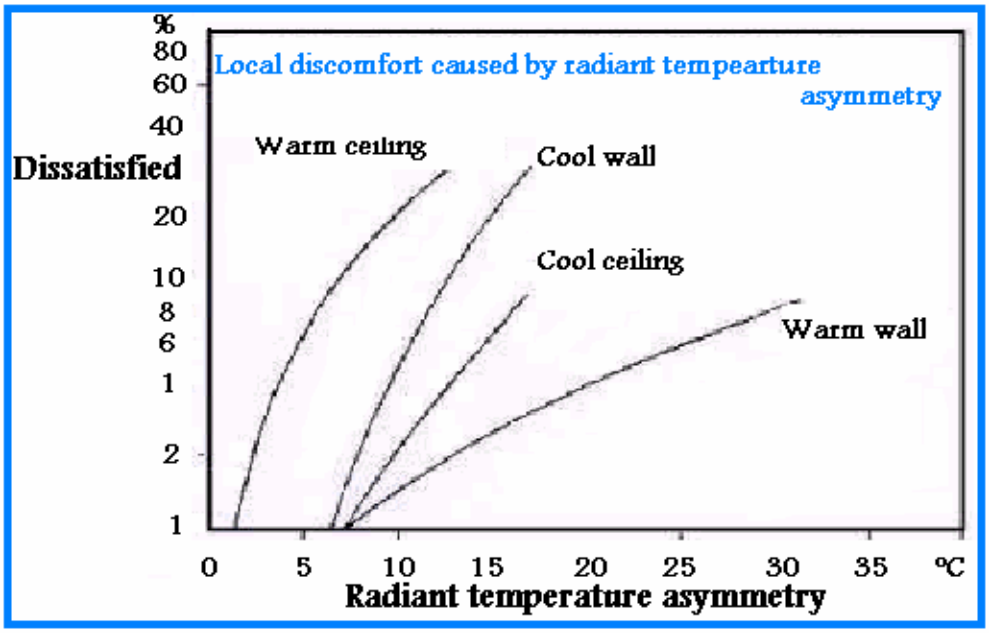


Fig-II-24- Exemples de courbes d'inconfort (Source: Thelier et al, 2003 et réadapté par auteur)

L'approche adaptative part du principe que l'homme est un système auto régulé. En cas d'inconfort il procure des réactions comportementales. Les auteurs concluent que les vêtements jouent un rôle dans l'adaptabilité, et également la température extérieure surtout dans les bâtiments non climatisés Fig-II-25-.

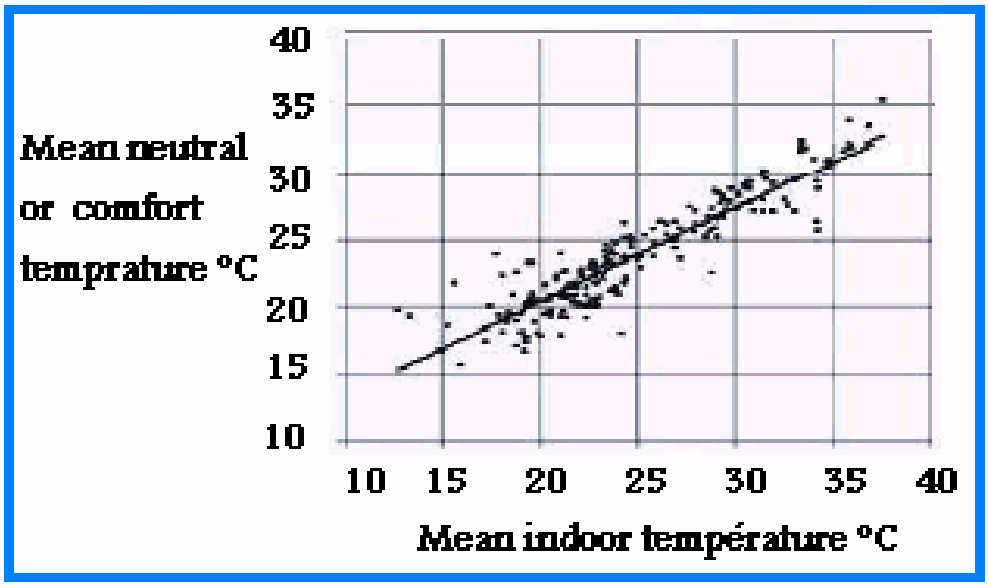


Fig-II-25- Température de confort en fonction de la température extérieure

(Source: Thelier et al, 2003 et réadapté par auteur)

A l'instar de la nouvelle norme Standard 55-2004[32] Fig-II-26-, une nouvelle équation de la température neutre a été proposée par Auliciems [33] :

$$Tn = 9.22 + 0.48\ Ta + 0.14\ Tmmo \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 08$$

Avec :

Ta : température de l'air
Tmmo : Température moyenne mensuelle extérieure.

Les expériences dans le modèle adaptatif se font avec les mannequins et les humains en chambres climatiques, ou en conditions réelles. Une même personne soumise plusieurs fois à des conditions thermiques identiques n'a pas les mêmes réponses subjectives ni mêmes physiologiques. Bien que les expérimentations sur mannequin, contrairement qu'avec les humains procurent l'avantage de la reproductibilité des résultats et l'homogénéité de la température de surface. Mais ils ne donnent accès qu'aux flux de chaleur sensible.

La simulation numérique est un autre moyen de plus en plus utilisé dans l'approche adaptative. Les physiologistes et les physiciens ont développé des outils spécifiques pour la compréhension de la thermorégulation humaine. En modèle de physiologie, le corps humain est subdivisé en plusieurs compartiments. Dans le modèle thermique, on calcule les conditions hygrothermiques dans le bâtiment en considérant l'homme comme simple source de chaleur et de l'eau, exemple TRNSYS, ENERGY +….Le modèle intégré considère l'homme en tant qu'élément actif de l'enceinte habitée, exemple le modèle de HUIZ 2001 [34]

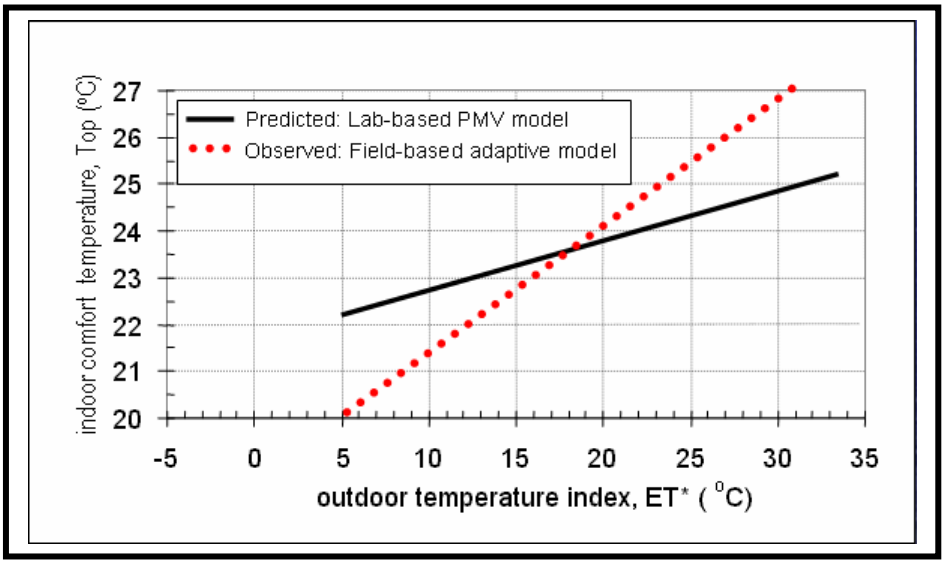


Fig-II-26- Comfort Adaptive Standard (ACS) (Source: ASHRAE Std. 55)

[32] STERLING. Elia, _ [Enligne] www.sterlingiaq.com page consultée le 12/05/2005.
[33] [Enligne] Http:// www.esru.strath.ac.uk/Reference/concepts/thermalcomfort.htm, _mise à jour le 01/01/2005
[34] HUIZENGA. C , ARENE. E,_ *A model of human physiology and comfort for assessing complex thermal Environments*, _ Building and Environment, 36 (2001), pp: 691-699.

II-2-1-3* <u>Le confort hygrothermique</u>

Cette recherche s'est choisie l'appellation du confort 'hygrothermique' au lieu du 'confort thermique', puis que ce dernier concerne uniquement la température, alors que « *le confort ne dépend pas seulement du paramètre température mais aussi de l'hygrométrie de l'air ambiant* »[35].

L'humidité faible ou élevée rend l'atmosphère inconfortable. Lorsqu'elle est inférieure à 20% provoque la sécheresse et le picotement, et supérieur à 80% résulte la sensation d'étouffement chez la personne.

Ces derniers temps le confort « hygrothermique » ou « thermo hygrométrique » est devenu la nouvelle appellation utilisée par les nouvelles tendances apparues à travers le monde. L'habitat sain au Canada, la bio- construction en Belgique, village solaire en Allemagne et la HQE « Haute Qualité Environnementale » en France.

Les médecins de l'habitat sain affirment que l'homme est un organisme homéotherme, où le confort hygrothermique dans son habitat dépend de la température de l'air et des surfaces, de l'humidité et des mouvements d'air. Ils donnent même des valeurs précises pour chaque facteur :

* Température des murs : 22 + 2°C ;
* Humidité relative entre 40 et 60% ;
* Température du sol : 19 à 24°C ;
* Vitesse de l'air : inférieure à 0.15 m/s ;
* Différence de température entre deux murs d'une même pièce doit être inférieure à 10°C;
* Différence de température entre le sol et le plafond doit être inférieure à 5°C ;
* La stratification de chaleur est inconfortable, pas plus de 3°C de différence entre la tête et les pieds des occupants.[36]

Selon la HQE, le confort hygrothermique est la sensation que ressent une personne par rapport à la température et à l'humidité ambiante du local où elle se trouve[37].

[35] LAVIGNE. Pierre et al, __ *Architecture climatique une contrition au développement durable Tome 1 Base Physiques* Aix-en- Provence : EDITION EDISUD, 1994, p 57.
[36] DEOUX. Suzane et Pierre, __ *Le guide de l'habitat sain*,_Andorra: EDITION MEDIECO, Avril 2002, p211.
[37] GAUZIN-MULLER. Dominique, _*L'architecture écologique*._Paris: Ed Le Moniteur, Novembre2002 p 270

II-2-1-4* <u>Analyse bioclimatique de la ville de Guelma</u>

II-2-1-4*a- Application de la méthode de S. Szokolay :

En se basant sur les recherches d'Hymphrey, Auliciems sur la température neutre, et la température effective (SET) des normes ASHRAEA, Steeve Szokolay a défini une zone de confort avec diverses zones de contrôle potentiel en fonction des données climatiques de la région d'étude[38]. Cette méthode a été retenue pour évaluer la situation dans la ville de Guelma Fig-II-27- (Voir annexe -I-). Les recommandations se résument ainsi:

- Effet de masse thermique avec ventilation nocturne et un contrôle solaire à partir du mois de juin ;
- Une ventilation naturelle pour la saison d'été ;
- Le chauffage passif pour les mois assez froids comme octobre, mars; et le chauffage d'appoint pour les mois les plus froids tel que janvier.

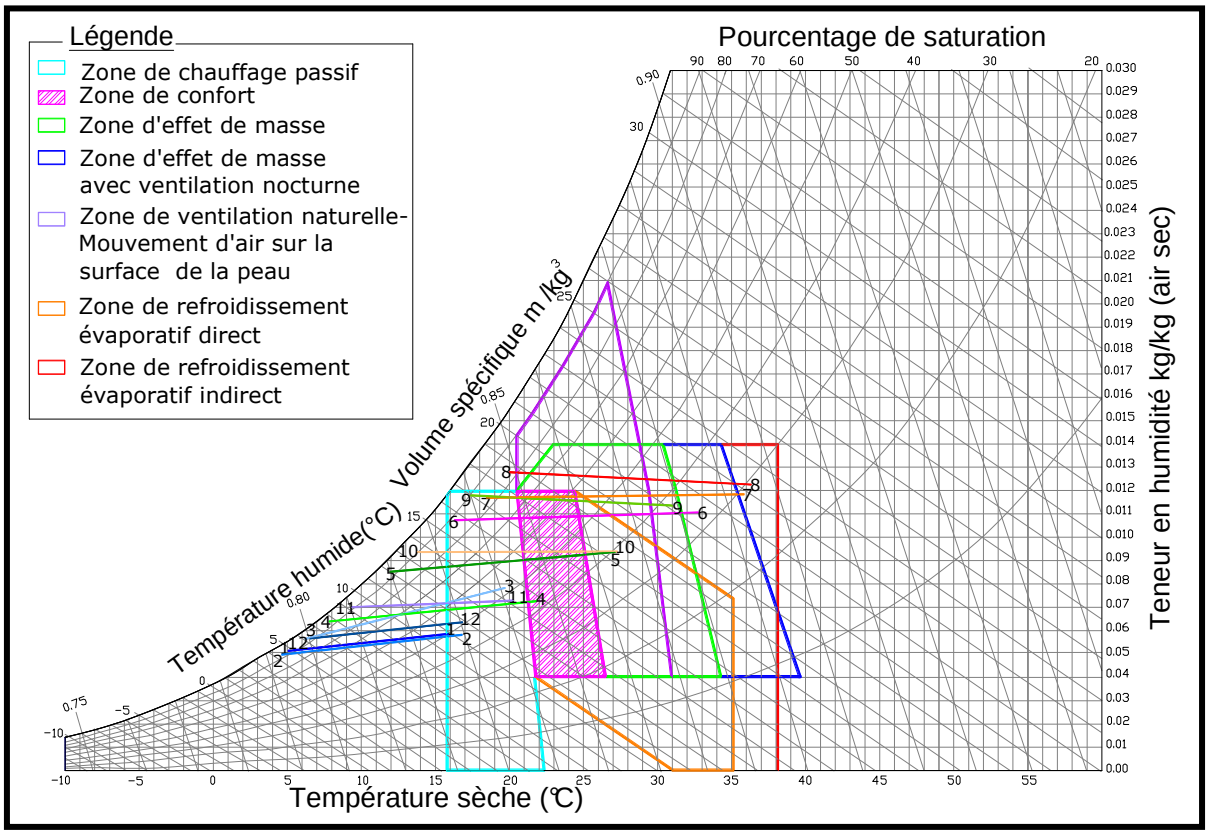


Fig-II-27- Diagramme psychrométrique de Guelma (Source: Auteur)

[38] SZOKOLAY, S V, _ *Environmental science handbook for architects and builder*. _ LACASTRE, LONDON, NEW YORK: THE CONSTRUCTION PRESS, 1979, p263.

II-2-1-4*b- Les tables de Mahoney :

Les tables de Mahoney présentent l'avantage d'intégrer certaines variables sociales et fonctionnelles en fonction des variations climatiques. C'est un autre outil pour déterminer les recommandations nécessaires à la réalisation du confort thermique dans le bâtiment. Les besoins en confort sont groupés en six indicateurs :

- H1 : la ventilation indispensable (climat chaud et humide) ;
- H2 : la ventilation souhaitée (climat chaud et sec) ;
- H3 : la protection de la pluie nécessaire (climat tropical et tempéré) ;
- A1 : l'inertie thermique (climat à grand écart diurne de température) ;
- A2 : dormir dehors (climat chaud en été) ;
- A3 : protection du froid.

L'analyse et les résultats sont présentés sous forme de tables avec recommandations. Cette méthode a été aussi choisie pour évaluer la situation dans la ville de Guelma (voir annexe -I-) Les principes de conception architecturale et les recommandations nécessaires déduites sont :

- le plan compact ;
- la cour intérieure à prévoir ;
- les murs épais ainsi que la toiture afin de permettre le déphasage de la chaleur ;
- la possibilité de bénéficier d'un chauffage passif en hiver avec un chauffage d'appoint en complément ;
- la climatisation naturelle et la ventilation sont nécessaires en été.

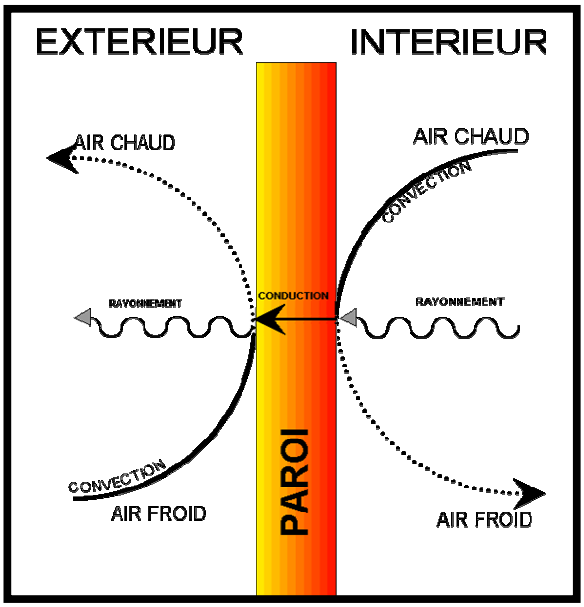
Conclusion

L'étude de cette partie nous a permet de tirer multiples conclusions. En effet les conditions qui caractérisent un environnement considéré confortable ne sont pas définissables à l'absolu, vu que les paramètres culturels, historiques, sociaux, etc. influent énormément sur la notion du bien être.

D'après l'analyse bioclimatique, l'inertie thermique de l'enveloppe est une recommandation nécessaire pour la conception architecturale dans les climats à grand écart diurne comme celui de Guelma.

Chapitre III :

Les principes de l'inertie thermique



Introduction

De tous temps, dans toutes régions, l'homme construisait avec son environnement immédiat. Il utilisait des matériaux locaux de préférence lourds, afin de bénéficier de leur inertie. L'action combinée des facteurs climatiques sur son abri provoque des réponses thermiques. L'inertie, sujet de notre propos est derrière cette réponse thermique des matériaux et à la manière dont ils constituent un bâtiment.

III-1- Exemples d'application de l'inertie thermique dans la construction :

Les habitations traditionnelles possèdent des qualités architecturales usant de moyens simples mais performants, répondants positivement aux sévérités climatiques. En période caniculaire, la forte inertie des matériaux est capable d'atténuer les variations de température en stockant la chaleur excessive des journées d'été pour la restituer la nuit. L'inertie permet d'éviter les surchauffes le jour, et en créant une circulation naturelle de l'air par les ouvertures, la masse se décharge dans l'air de la nuit. En hiver ce véritable piège à soleil permet également d'emmagasiner les précieuses calories pour faire face aux jours et aux nuits froides. Ce ci assure en fait une consommation énergétique réduite pour rafraîchir ou pour chauffer l'intérieur. En réalité **«** *la science de la construction traditionnelle correspond à une connaissance exacte et raisonnée, fondée sur l'expérimentation du comportement en œuvre des matériaux de construction…, exclusivement expérimentale et qui s'est développée sans aucune théorisation mathématique. Son caractère scientifique est parfois occulté à nos yeux.*»[1] A travers le monde, les traditions de la construction vernaculaire expriment une adaptation thermique particulièrement sophistiquée. L'architecture troglodytique, massive et l'architecture des igloos ont y parmi les exemples de cette construction traditionnelle savante, utilisant l'inertie thermique pour s'adapter à la rigueur du climat.

III-1-1- L'architecture troglodytique :

« *La recherche de l'inertie maximale d'une maison conduit à enterrer celle-ci. La masse de terre qui contribue à l'échange thermique devient immense, tend vers une grandeur infinie…Ce type d'architecture souvent très méconnu reste cependant très riche, vivant, et son aire de développement se trouve sous toutes les latitudes, tous les climats quelques soit les conditions de sols.* »[2] Constituées en rangée linéaires ou adossées ou autour d'une cour centrale, en cavités naturelles ou artificielles, les constructions enterrées ou semi enterrées offrent des ambiances intérieures très confortables. Par l'augmentation considérable de

[1] COIGNET. Jean, __ *Réhabilitation : arts de bâtir traditionnel connaissances et techniques*, __ Aix-En-Provence: Edition EDISUD, 1987, p 21.
[2] LOUBES. Jean- Paul, __ *Archi troglo*, __ France: Editions Parenthèse, 1984, pp5.

l'inertie thermique de l'enveloppe, la variation journalière des températures disparaît; seul le cycle annuel pèse sur l'ambiance intérieure. Des exemples ont fait l'objet d'investigation expérimentale menée par Fardaheheb en 1987, ont prouvé qu'une température intérieure peut être maintenue stable autour de 30°C, alors que la température de surface dans les parois extérieures dépasse les 40°C. D'autres mesures montrent que prés de la surface, la température fluctue journalièrement autour de la température moyenne diurne. Mais avec la profondeur, la période d'intégration de la température moyenne augmente et, à une certaine profondeur, l'amplitude finit par s'exercer autour de la moyenne annuelle de la température extérieure. Enfin au delà de cette profondeur, se sont les conditions du régimes permanent qui prévalent [3] Fig-III-1-.

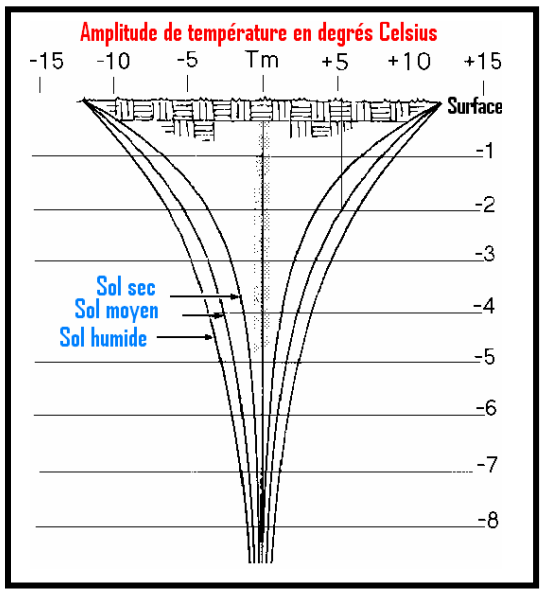


Fig-III-1- Courbes d'amplitude des températures dans le sol en fonction de la profondeur et de l'état d'humidité de celui-ci: le régime pemanent (+/- 0.5°C) est atteint à -5m (sol sec) -7.5m (sol myen) et -9m pour un sol humide. Tm représente la température moyenne annuelle au niveau du sol. (Source: J.L. Izard, 1993, et réadapté par auteur)

Dans ce type d'architecture on prend aussi un soin extrême pour l'orientation par rapport aux points cardinaux, au vent et au soleil. Car celui ci combiné avec l'inertie thermique de la terre peut procurer de l'énergie et l'économie de cette dernière. Pour ces raisons, les anciennes constructions ont profité pour y installer des villes et des villages entiers sous terre. Les exemples sont nombreux Matmata en Tunisie, Tripolitanieen Libye, Aputia en Italie, Andalucia en Espagne, la ceinture du loess en chine et les villes de Kaymakli, Derinkyu et Ozkonak en Turquie sont uniques.

[3] IZARD.J.L, __ *Architecture d'été Construire pour le confort d'été*, __ Aix - en Provence : Edition EDISUD, 1993, p71-72.

L'exemple de Cliff Palace (littéralement « palais de la falaise ») abrite 220 pièces d'habitation de type troglodytique construites et habitées par les Anasazi (peuple amérindien) au XIII^{ème} siècle av. J.-C Photo-III-1-. Les indiens Anasazi du sud-ouest des états unis étaient d'une adresse remarquable pour choisir leurs sites, des falaises à l'abri desquelles ils batissaient leurs demeures. Ils optaient invariablement pour des lieux protégeaient du rayonnement solaire estivale, sous des surplombs des falaises acceuillant le plein soleil des longs hivers. Les habitats étaients abritaient des vents froids et bénificaient de l'inertie thermique de la terre et de la falaise qui amortissait les écarts de température.

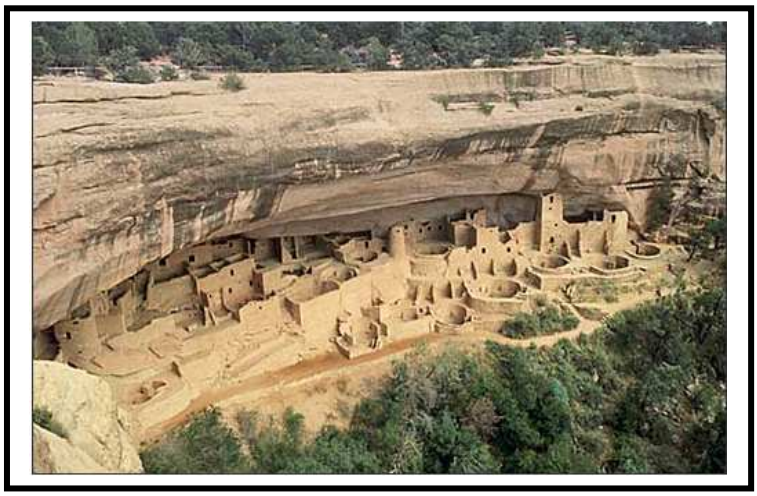


Photo-III-1- Cliff Palace, Mesa Verde National Park (États-Unis)

(Source: Art Resource, NY/Werner Forman In Collection Microsoft Encarta, 2005).

Un autre exemple celui de Matmata en Tunisie, enterrée de 6 à 8 m du niveau du sol, son architecture troglodytique permet grâce à l'inertie de la terre d'assurer aux habitants une température confortable malgré les amplitudes du climat aride Photo-III-2-.

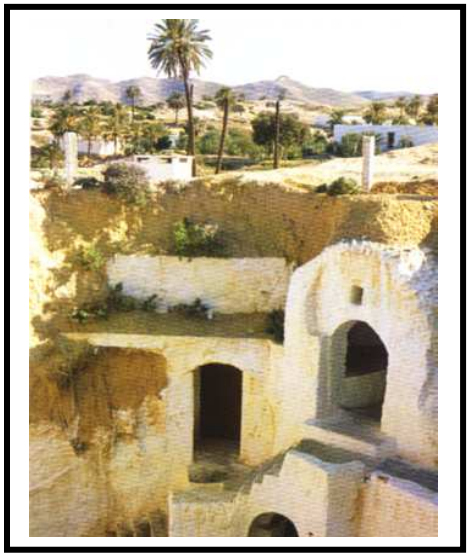


Photo-III-2- L'architecture troglodytique « Matmata» en Tunisie (Source : ARCHIBAT, 2005)

III-1-2- L'architecture massive :

Procurer la stabilité de la température à l'intérieur entre le jour et la nuit et entre l'été et l'hiver est un élément important dans le confort. Ce-ci est obtenu naturellement par l'utilisation d'éléments de structure lourds. Les maisons anciennes avec leurs murs épais assurent la fraîcheur en été et l'isolation du froid en hiver. La maison iranienne, et celle de Yemen ont y parmi les exemples de cette architecture massive en climat chaud, où l'usage de matériaux locaux comme la pierre Fig-III-2- et Photo-III-3-.

En climat tempéré à froid l'architecture massive est aussi présente, la pierre demeure le matériau lourd le plus fréquemment utilisé Photo-III-4-.

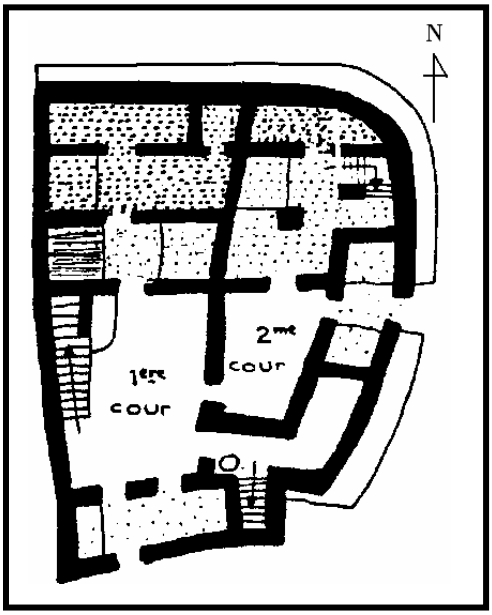


Fig-III-2- L'architecture massive exemple:la maison iranienne (Source: G, J.M Alexandroff,1982)

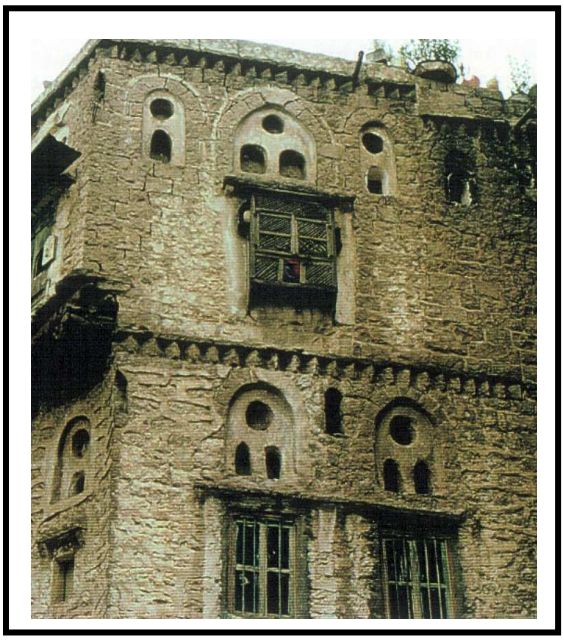


Photo-III-3- Usage de matériaux locaux (la pierre) au Yémen (Source: In Abdou. S, 2004)

Photo-III-4- L'architecture massive en climat tempéré à froid : exemple de la France.

III-1-3* L'architecture des igloos :

Une réponse aussi particulièrement ingénieuse apportée aux besoins climatiques est exprimée par l'igloo esquimau. Les Inuits peuple de l'est et du centre de Canada construisent des igloos pour y habiter à court et à long terme. Le froid intense impose pour la maçonnerie un matériau dont la capacité calorifique soit la plus faible possible, la neige sèche avec son inertie thermique répond admirablement à ce critère. J.M.Fitch affirme que « *le dôme hémisphérique de l'igloo offre une résistance maximale et un minimum d'obstruction aux assauts du vent; dans le même temps il expose la surface la plus réduite à leurs effets refroidissant. Le dôme résume la meilleure façon de sortir le plus grand volume en mettant en œuvre la plus petite structure; cette disposition permet un chauffage maximal à partir d'une source de chaleur radiante produite par une lampe à huile* » Photo-III-5-.

Photo-III-5-Architecture de l'igloo (Source:Researchers, Inc./George Holton In Microsoft Encarta2005)

A travers ces illustrations, on constate que l'inertie thermique de l'enveloppe est un paramètre essentiel pour le maintient du confort intérieur. Qu'est ce que l'inertie et quels sont ses principes, c'est ce que vas traité le chapitre présent.

III-2-Inertie thermique : concepts et définitions

Selon Quillet (1948), l'inertie est la « *propriété qu'ont les corps de ne pouvoir modifier d'eux-mêmes l'état de mouvement ou de repos dans lequel ils se trouvent* ». Définie aussi comme le « *caractère d'un matériau capable d'accumuler de l'énergie calorifique lors d'un rapport de chaleur, pour la restituer ensuite dans un délai plus au moins long. L'inertie thermique d'un matériau est un général proportionnel à sa conductivité thermique, plus une maçonnerie est lourde et épaisse plus son inertie thermique est élevée* » [4]

La notion d'inertie exprime une "résistance" propre à un changement d'état ou de régime, donc à des phénomènes dynamiques. Ce changement d'état peut être provoqué soit par des variations de la température extérieure, ou par des variations de flux dissipées à l'intérieur du logement.[5] Les conditions extérieures sont supposées selon deux régimes, permanent et variable. Dans le premier la température intérieure est considérée constante. Dans le deuxième *« on tient compte du fait que les valeurs des paramètres climatiques agissants varient dans la journée selon, approximativement une sinusoïde* ».[6]

III-2-1- Masse thermique et inertie thermique :

La masse thermique et l'inertie thermique, deux termes souvent confondus alors qu'ils recouvrent des réalités totalement différentes. La masse thermique d'un élément est le produit de la masse de l'élément par sa chaleur massique. Au contraire l'inertie thermique d'un local est un terme conventionnel permettant une approche simplifiée de phénomènes non aborder en régime discontinu.[7] La masse thermique pourrait éventuellement caractériser l'inertie si on ne tient pas compte de la variation du flux thermique. C'est à dire si on se rapproche des régimes permanents. Ces régimes permanents sont la base d'estimation des matériels et matériaux thermiques à installer. Mais ne représentent en aucun cas le véritable fonctionnement thermique d'un bâtiment. La notion d'inertie thermique dans le bâtiment est donc plus complexe et s'appuie sur d'autres constantes physiques des matériaux.

[4] DE VIGAN. Jean, __ *Dicrobat dictionnaire général de bâtiment*, __ Paris: Edition ARCATURE 2003.
[5] CHARBONNIER. Sylvie et al, _ *Le guide de la thermique dans l'habitat neuf*, _ Paris: Edition du MONITEUR, 1992, p42.
[6] IZARD.J.L et GUYOT. A, __ *Archi bio*, __ Paris: Edition PARENTHESES, 1979, p16.
[7] BONHOMME. André, __ *L'isolation des bâtiments Conception des projets Ventilation Apport solaires Besoins de chaleur Economies d'énergie*, __ Paris: Edition du MONITEUR, 1986, p42.

III-3- Rappel des grandeurs physiques fondamentales en thermique :

III-3-1- Notion de température

Grandeur physique, la température décrit l'état thermique d'un corps. Son unité légale est le kelvin [K]. Ce dernier est la 1/273,16 partie de la température thermodynamique du point triple de l'eau. Température en degré Celsius (°C) = température en kelvin – 273,16[8]

III-3-2- Définition de chaleur

La chaleur est une forme d'énergie créée par l'agitation moléculaire intense d'un milieu. Cette agitation peut être produite par une combustion, un passage d'un courant électrique, une réaction chimique, la compression d'un gaz, le frottement de deux matériaux, ou enfin l'excitation due à l'effet des micro-ondes sur certaines molécules (eau)[9]

III-3-2-1* Chaleur sensible: Concerne l'élévation ou la baisse de température d'un corps.

III-3-2-2* Chaleur latente : Concerne les changements d'état de la matière sans variation de température (chaleur total = chaleur sensible + chaleur latente).

III-3-2-3* Quantité de chaleur : C'est l'énergie calorifique. Elle s'exprime en joule (J) ou en wattheure (Wh) (1 Wh = 3,6 x 10^3 joules, 1j = 0,278 x 10^{-3} Wh).

III-3-2-4* Flux de chaleur : Quantité de chaleur qui s'écoule pendant l'unité de temps Fig-III-3-. Notée Q et exprimée en W / m², selon la loi de Fourrier Q est égale**:**

$$Q = \lambda \frac{\Delta \theta}{e} \quad \text{.....1}$$

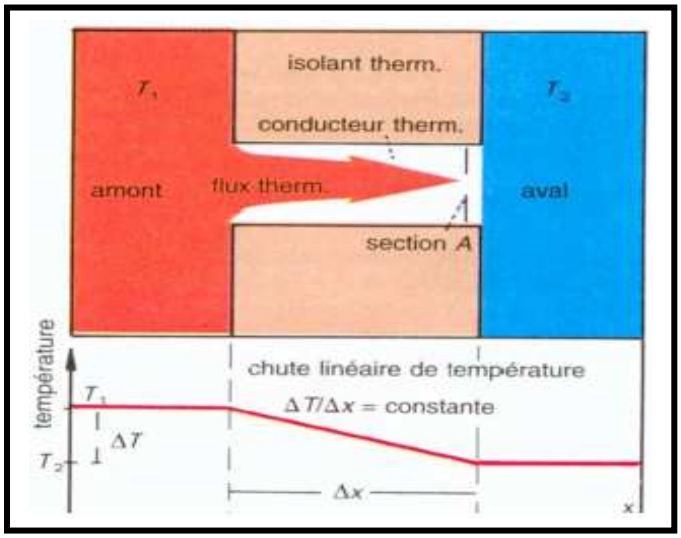


Fig-III-3- Flux de chaleur (Source: J.B. Michel, 2004)

[8] MICHEL. Jean Bernard, __ *Cours de thermique*, _HES.SO, 2004, Ecole d'ingénieurs de Genève [Enligne]
[9] PALHEIRE. Jean Yves, __ *Confort thermique* [Enligne] http:// www.ac-amiens.fr, _ page consultée le 13/04/2004, __ e-mail: JEAN-YVES. PALHEIRE@ ac-amiens.fr,

III-3-3- Modes de transfert de chaleur :

III-3-3-1* Conduction: La chaleur se transmet sans déplacement de matière, par contact moléculaire entre un ou plusieurs corps qui se touchent. Il suffit de chauffer l'extrémité d'un morceau de métal pour que la chaleur s'y propage Fig-III-4-.

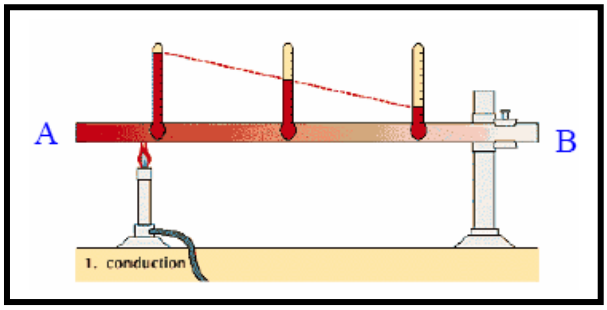


Fig-III-4- Conduction thermique (Source: J.B. Michel, 2004)

III-3-3-2* Convection: Mécanisme propre aux fluides. Au contact d'un corps chaud, le fluide se met en mouvement et se déplace vers le corps froid où il perd son énergie calorifique. Créant ainsi un mouvement de convection qui peut-être naturelle ou forcée Fig-III-5-.

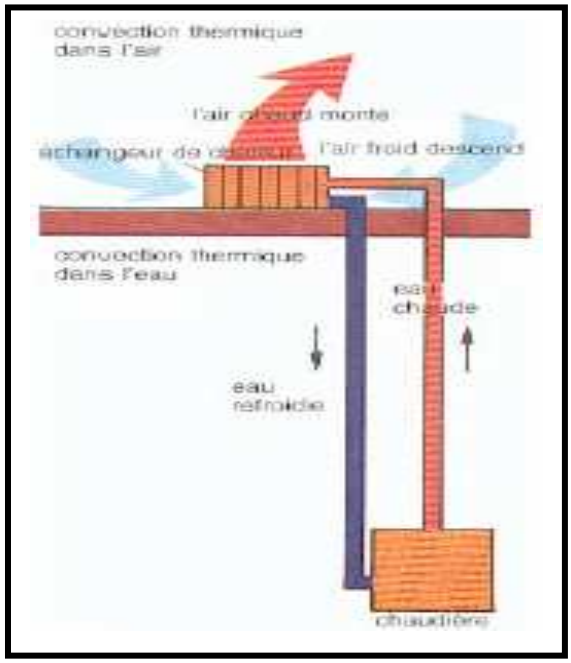


Fig-III-5- Convection de chaleur (Source: J.B. Michel, 2004)

III-3-3-3* Rayonnement : Quelle que soit sa température, un corps rayonne de la chaleur vers d'autres corps plus froid à travers des milieux. Tels que l'air ou le vide. Mais un corps qui serait porté à 0 k ne rayonne plus.

III-3-3-4* Evaporation ou condensation : Ces phénomènes impliquent des changements d'état liquide ou gazeux, et produisent une absorption ou une émission de chaleur

III-4- Transfert de chaleur à travers une paroi opaque :

Les interactions continuelles des facteurs climatiques sur l'enveloppe des bâtiments impliquent des transferts d'énergie à travers ses parois (murs ou toiture). Ces transferts sont des processus qui se produisent simultanément dans les deux directions. Le rayonnement solaire est absorbé et réfléchi. La chaleur sensible est transférée par conduction et convection à travers la masse du mur. La chaleur latente est absorbée puis relâchée lorsqu'il se produit le phénomène de condensation et l'évaporation de l'eau sur la paroi.[10] Ces modes d'échange sont bien souvent "cumulés" Fig-III-6-.

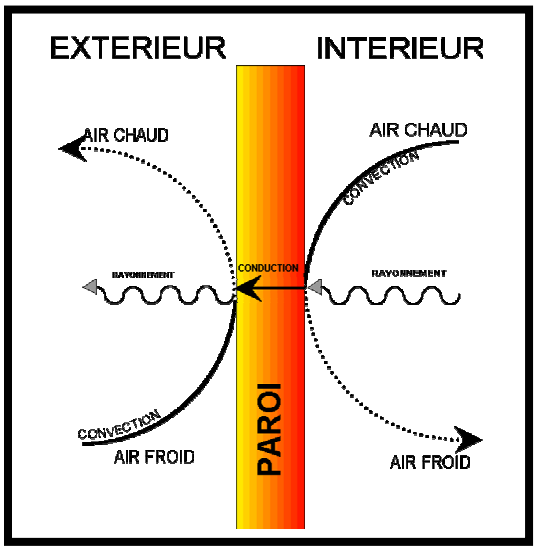


Fig-III-6- Transfert de chaleur à travers une paroi opaque (Source: Jean Yves Palheire, 2004)

Dans le cas de la conduction, l'inertie s'oppose à l'écoulement du flux de calories qui la traverse de l'extérieur ou de l'intérieur Fig-III-7-. L'inertie thermique de la paroi est proportionnelle à l'épaisseur et inversement proportionnelle au coefficient de conductibilité du matériau. Ce flux est de coefficient de transmission K, séparant deux ambiances intérieures à la température ti et extérieure à la température extérieure te [11]:

$$q = K (ti - te) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots a$$

Le flux est aussi exprimé sous forme traduisant les échanges entre l'ambiance intérieure et la surface interne de la paroi :

$$q = hi (ti - \theta i) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots b$$

Avec hi : coefficient de transmission thermique de surface interne.

De a et b la température de la surface interne de la paroi s'écrit par :

[10] Centre de recherche en architecture et en urbanisme CRAU El harrach. En collaboration avec l'université des nations unies UNU, _ *Village solaire intégré,* __ Edition OPU 1988, p 265.

[11] CROISET. Maurice, _ *L'hygrothermique dans le bâtiment Confort d'hiver d'été Condensations,* _ Paris: EDITION EYROLLES, 1968, p60.

$$\theta i = ti - K / hi \, (ti - te) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 2$$

Avec**:** - **te** : température air extérieur

- **θe**: température paroi extérieure
- **θn**: température intérieur paroi
- **θi** : température paroi intérieure
- **ti** : température air intérieur

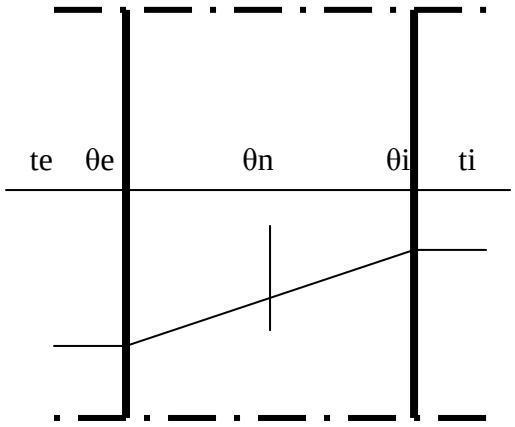


Fig-III-7- Transfert de chaleur par conduction à travers la paroi (Source : Auteur)

Aussi «*la paroi est souvent le siège d'un grand nombre d'échanges thermiques et hydriques, échanges couplés et de régimes variés*».[12] Les matériaux possèdent des propriétés hygroscopiques (perméabilité à la vapeur d'eau) qui interviennent sur le comportement thermique et hydrique du bâtiment. «*Les matériaux naturels ont des propriétés hygroscopiques que n'ont pas les matériaux modernes (synthétique et minéraux*) »[13]

Les facteurs favorables à la transmission sont l'humidité des matériaux, de l'air, mouvement libre de l'air et renouvellement de l'air nécessaire à la salubrité. Tandis que les facteurs défavorables à la transmission sont la matière compacte (masse volumique élevée), la porosité des matériaux, l'air prisonnier en cellules réduites, le changement de matériaux dans la paroi et l'épaisseur croissante des parois.

La température résultante Tr est liée également à la teneur en humidité de l'air[14].

$$Tr = \frac{(\text{tair} + \text{t moyenne des parois})}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 3$$

[12] CHAFI Fatima Zohra, __ *Contribution de la diffusion de l'humidité sur le transfert de chaleur à travers les milieux poreux. Application aux matériaux de construction*. Thèse de magister en génie climatique, 2000.
[13] Les cahiers techniques du bâtiment N° 246 Octobre 2004, p48.
[14] LETERTRE. F, RENAUD. H, __ *Technique du bâtiment Gros œuvre comment isoler*,__ Paris : Edition FOUCHER 1979, p 4.

III-5- Types d'inertie :

Deux types d'inertie existent, une inertie par absorption et une autre par transmission. Celle d'absorption augmente avec l'épaisseur et avec l'effusivité de la paroi. Celle de transmission augmente avec l'épaisseur et diminue avec la diffusivité de la paroi.[15]

III-6- Les principes de l'inertie thermique :

En été l'inertie thermique permet d'amortir d'une part l'onde quotidienne de température et d'ensoleillement, et d'autre part l'onde séquentielle (onde dont les valeurs sont les moyennes quotidiennes de températures) de la température extérieure. Il n' y a pas de correspondances systématiques de comportement d'une construction vis-à-vis de ces deux phénomènes. L'inertie quotidienne génère des phénomènes de « déphasage et d'amortissement ». United Nations en 1993 affirme que c'est grâce à elle que la durée du transfert de chaleur est retardée.

L'inertie thermique peut aussi avoir un effet positif sur les conditions intérieures en période d'hiver. Balaras affirme que l'énergie disponible des gains solaires et les gains internes durant le jour, est stockée dans la masse et lentement restituée dans l'environnement intérieur plus tard lorsqu'on a besoin. Satisfaisant ainsi une part de la charge du chauffage.[16]

Le terme d'inertie thermique ou masse thermique est usuellement associé au matériel de stockage qui est la masse du bâtiment lui-même. En générale elle comprend les murs, cloisons, plafonds et planchers du bâtiment qui sont construits en matériaux de haute capacité thermique. Ces deux termes sont largement utilisés par les chercheurs et aucune distinction n'est faite entre eux dans leurs recherches. Dans cette étude, dans la partie revue littérature, le terme d'inertie thermique et masse thermique seront cités selon les rapports de recherches. Après, tout terme d'inertie thermique sera utilisé pour désigner les caractéristiques thermiques du bâtiment concernant sa capacité à stocker et à restituer la chaleur.

III-7- Les méthodes à quantifier la capacité du stockage thermique :

Le phénomène du flux de chaleur et le stockage thermique ont été étudiés et plusieurs méthodes à quantifier la capacité du stockage thermique ont été développées. Les concepts comme « le facteur de décrément », « température sol-air », « temps de déphasage » et

[15] BERNSTEIN. Daniel et al, _ *Anatomie de l'enveloppe des bâtiments: construction et enveloppes lourdes* Paris: Edition LE MONITEUR 1997, p 31-32.
[16] BALARAS. C.A, __ *The role of thermal mass on the cooling load of buildings. An overview of computational methods*, __ Energy and Buildings, 1996, vol 24: pp 1-10.

« différences finies (finite differences)» ont été introduits durant les trente dernières années. Certains d'entre eux vont être revus ci-dessous.

Asan et Sancaktar en 1998 investiguent les effets des propriétés thermophysiques du mur sur le temps de déphasage et le facteur de décrément, et donnent une définition de ces concepts: « *Pendant le processus transitoire, dans le quel la température extérieure change pendant la période d'un jour, une onde de flux de chaleur traverse le mur de l'extérieur à l'intérieur. L'amplitude de cette onde présente des magnitudes de température, et sa courte longueur d'onde présente un temps. Pendant la propagation de cette onde thermique à travers le mur, son amplitude diminuera selon les propriétés thermo- physiques de matériau du mur. Quand cette onde atteint la surface intérieure, il y aura une amplitude qui est considérablement plus petite que la valeur qu'il y est à l'autre surface. Le temps que prend l'onde thermique pour se propager de la surface externe à la surface interne est nommé 'le temps de déphasage' ou décalage de la phase et la proportion décroissante de son amplitude pendant ce processus est nommé ' le facteur de décrément' ou facteur d'amortissement.* »[17]

Autrement dit le déphasage ou effet retardateur est le décalage dans le temps entre l'évolution de la température extérieure et la température intérieure Fig-III-8-. Sa formule est donnée ci-dessous d'après M. Evans en1980 :

$$\Phi = 1.38\ e\ \sqrt{1/a} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 4$$

Avec **:** Φ déphasage (s), e épaisseur (m), a diffusivité thermique (m²/s)

L'amortissement ou effet isolant est plutôt le rapport de l'amplitude de la variation quotidienne de la température extérieure sur l'amplitude de la variation quotidienne de la température intérieure. S'il ne contient pas d'isolant, le matériau joue un rôle important avec son épaisseur sur le déphasage variant que sur l'amortissement. Cette influence sur le déphasage est d'autant importante, si le matériau a une masse volumique et chaleur massique importantes. Or le matériau isolant joue un rôle important sur l'amortissement du bâtiment et assez faible sur le déphasage. Cette influence sur l'amortissement est d'autant très importante si le matériau a une conductivité thermique faible (polystyrène, laine de verre).

[17] ASAN. H, SANCAKTAR. Y.S, __ *Effects of wall's thermophysical properties en time lag and decrement factor,* __ Energy and Buildings, 1998, vol 28: pp159-166.

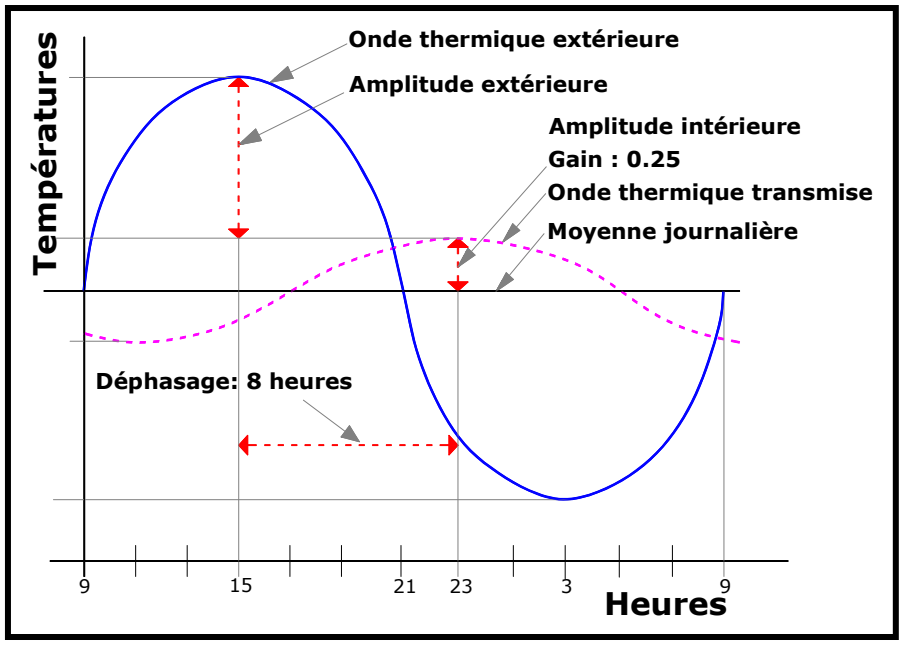


Fig-III-8- Le déphasage et l'amplitude de l'onde incidente par une paroi homogène

(Source:J.L Izard et A.Guyot1969, réadapté par auteur)

III-7-1- La méthode de l'admittance :

La méthode de l'admittance a été développée en Grande-Bretagne, elle est utilisée pour caractériser l'inertie thermique d'un bâtiment. L'admittance donne une mesure de l'habilité des composants du bâtiment à emmagasiner et restituer l'énergie durant le cycle journalier. Elle peut être défini comme le rapport de la variation du flux de chaleur à la variation de la température pendant un cycle de 24 heures. Cette méthode a été développée par Loudon en 1968 au "Building Research Establishment", ensuite en 1974, elle a été étudiée par « Petherbridge ». Le 1970 Guide (IHVE Guide – The Institution of Heating and Ventilating Engineers) est le premier qui a introduit le concept de l'admittance thermique, et depuis lors il a été adopté par CIBS Guide entre 1975 et 1980. Ces guides sont appelés à nos jours « CIBSE– Chartered Institution of Building Services Engineers ».

Une étude par Milbank en 1974 analyse la réponse thermique de bâtiments à entrée d'énergie cyclique en utilisant la procédure de l'admittance. Il insiste que « *la méthode de l'admittance est à l'origine une procédure manuelle qui cherche à équilibrer les besoins incompatibles pour simples calculs et réponses exactes* ». [18]

[18] MILBANK.N.O, LYNN. J.H, __ *Thermal response and the admittance procedure*, __ BSE, vol. 42, May 1974, pp38-51.

Les surfaces internes des matériaux lourds, tel que le béton, la brique ou la pierre, ont une grande capacité pour accumuler une partie du gain d'énergie cyclique. Cette caractéristique leur donne une haute admittance et par conséquent, la température de sudation dans les pièces en tels matériaux est basse. L'unité de l'admittance (Y) est W/m² °C. Les valeurs de l'admittance pour divers composants de la construction sont données dans le « CIBSE Guide » section A3.

L'admittance totale d'une pièce peut être calculée par la somme des produits de toutes les surfaces des parties de la pièce (A), et leur valeur d'admittance respective (Y) est représentée par l'expression suivante:

$$\Sigma A Y \text{ ……..5}$$

Son unité est donnée en W / °C .

D'après Balcomb en 1983, l'admittance peut être exprimée par:

$$Y = \sqrt{\frac{2 \pi \lambda \rho c}{p}} \quad \text{…… ……. 6}$$

où P représente une période de cycle de 24 heures ;

λ la conductivité, ρ la masse volumique et c la chaleur massique.

Généralement, les matériaux qui ont une haute densité, ont aussi une haute conductivité thermique. Par conséquent ces matériaux sont bons pour le stockage de la chaleur. Ca veut dire que si le produit $\lambda \rho c$ est grand, la capacité de stockage de chaleur du mur sera haute.

Selon Givoni en 1976, le concept de l'inertie thermique d'un mur ou de la structure d'un bâtiment dans son ensemble est étroitement en rapport avec son poids. C'est à dire la combinaison de la densité et de l'épaisseur du matériau. Comme on peut voir, la méthode de l'admittance ne considère pas l'épaisseur du matériau dans le calcul et l'inertie thermique, dans ce cas, elle est seulement caractérisée par les valeurs de la densité du matériau et les dimensions du mur.

La méthode de l'admittance peut être utilisée pour les besoins de prévision de la température intérieure. Elle permet le calcul de la température maximale extérieure pour tout type de bâtiment. La technique est décrite dans « CIBSE Guide », section A8.

III-7-2- La méthode de la capacité de la chaleur diurne :

Balcomb en 1983 a introduit le concept de la capacité de la chaleur diurne « Diurnal Heat Capacity », basé sur les principes de la méthode de l'admittance. Dû à l'importance des cycles ambiants diurnes ou énergie solaire et la température extérieure, il est devenu considérable de caractériser la réponse du bâtiment sur une fréquence de 24 heures. Cette conclusion aboutit au concept de la capacité de la chaleur diurne comme c'est défini par Balcomb « *la quantité de chaleur emmagasinée dans un bâtiment pendant la première moitié d'un cycle de 24 heure est restituée à l'espace pendant la seconde moitié du cycle*. »[19] De plus, c'est la quantité de chaleur qui est stockée par degré de la température de sudation et elle est donnée en unité de Wh/ m²°C.

Les valeurs de la capacité de la chaleur diurne des matériaux varient en fonction de l'épaisseur et les propriétés thermiques du matériau. Si un mur est considéré infiniment épais, les valeurs de la capacité de la chaleur diurne peuvent être de 60.7 Wh/m²K pour un mur en béton, 36.7 Wh/m²K pour un mur en brique et 9.4 Wh/m²K pour une cloison en bois tendre.

La capacité de la chaleur diurne d'une pièce entière ou d'un bâtiment peut être déterminée de la même façon qu'avec la procédure de l'admittance, en incorporant l'effet de toutes les surfaces qui agissent en parallèle. C'est la somme de toutes les valeurs de capacités de la chaleur diurnes pour toutes les surfaces que clôture une pièce, donnée par l'expression suivante:

$$DHC = \Sigma A\ dhc \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 7$$

DHC: Diurnal Heat Capacity , sont unité est donnée en Wh / °C .

D'après Balcomb, il sera nécessaire en premier de classer chaque surface de la pièce en l'associant avec le gain solaire qu'elle peut recevoir. Cette méthode considère la capacité de la chaleur diurne égale à zéro dans toutes les surfaces couvertes, tel que les murs ou les sols couverts de tissu épais, tapis, moquettes ou tableaux (images) et aussi les surfaces dissimulées derrière les armoires. De plus, la capacité de la chaleur diurne qui correspond au mobilier d'après Balcomb, peut être estimée de 11 Wh / K pour chaque m² de la surface du plancher pour les ameublements normaux.

En plus qu'elle soit une mesure utile de la capacité du stockage de la chaleur d'une pièce, la capacité de la chaleur diurne peut être aussi utile pour estimer la température de sudation dans une pièce ou dans un bâtiment.

[19] BALCOMB. J 1983, __ In " Thermal inertia and natural ventilation – Optimisation of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil " Octobre, 2004.

Cet aspect a été étudié par Diaz en 1994, où il a fait appel à la méthode de la capacité de la chaleur diurne pour le calcul des températures de sudation internes, en comparant ses résultats avec ceux d'investigations et simulations thermiques. Les résultats ont révélé une concordance parfaite, et ont prouvé que la procédure de la capacité de la chaleur diurne peut être utilisée pour prédire la variation de la température interne, à la fois pour les conditions d'hiver et d'été.[20]

III-8- L'inertie thermique et les mécanismes de transfert de chaleur:

Trois principes physiques stipulent la forme dans laquelle l'inertie thermique peut affecter la réponse thermique d'un bâtiment et qui sont le transfert de la chaleur, la distribution de la chaleur et le stockage de la chaleur.

III-8-1- Le mécanisme du transfert de chaleur :

Le mécanisme du transfert de chaleur commence pendant le jour, quand la température du mur externe augmente, par suite de l'équilibre thermique entre le gain causé par la radiation solaire incidente et les pertes par convection et radiation. Avec le temps, une quantité de chaleur est absorbée par le mur et la température augmente selon les propriétés thermiques du matériau et les conditions de sa surface. La chaleur se déplace, alors, à travers le mur, vers la surface intérieure. Pendant la nuit, comme la température extérieure diminue et il n'y a aucune radiation solaire, un processus inverse aura lieu. D'où, la température du mur décroît en dépendant encore des propriétés thermiques du matériau et les conditions de sa surface. Tout flux de chaleur se déplace de l'endroit de plus haute température vers celui de basse température, avec un effort d'atteindre l'équilibre. La plus grande vitesse du vent extérieur augmente les pertes de convection. De la même façon, sur la surface interne du mur, en accentuant le mouvement de l'air, les pertes de la chaleur et la dissipation de la chaleur emmagasinée augmentent.[21]

Donc, plus forte est l'inertie thermique du bâtiment, plus lent sera le mécanisme de transfert de la chaleur à travers ses structures.

La forte inertie d'un bâtiment réduit et retarde l'effet des conditions extérieures (déphasage et décalage). Cette stratégie de conception est particulièrement adaptée aux

[20] DIAZ. C, __ *Climate –responsive design for non-domestic buildings in warm climates- Optimisation of thermal mass for indoor cooling*, __ Environment & Energy Programme. London, Architectural Association Graduate School, 1994.
[21] Santamouris et Asimakopoulos, 1996, __ In " Thermal inertia and natural ventilation – Optimisation of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil " Octobre, 2004.

climats où la variation de la température est importante Fig-III-9-. L'inertie thermique sert au déphasage du pic de la chaleur ayant lieu le jour vers la fin d'après midi. E.Shaviv ,1984, B.Givoni, 1991et Izad en1991ont évoqué que les parois épaisses sont satisfaisantes le jour quant la température externe est supérieure à celle de l'intérieur. Mais la nuit la forte inertie permet d'emmagasiner puis restituer la chaleur lorsque la température extérieure est baissée.

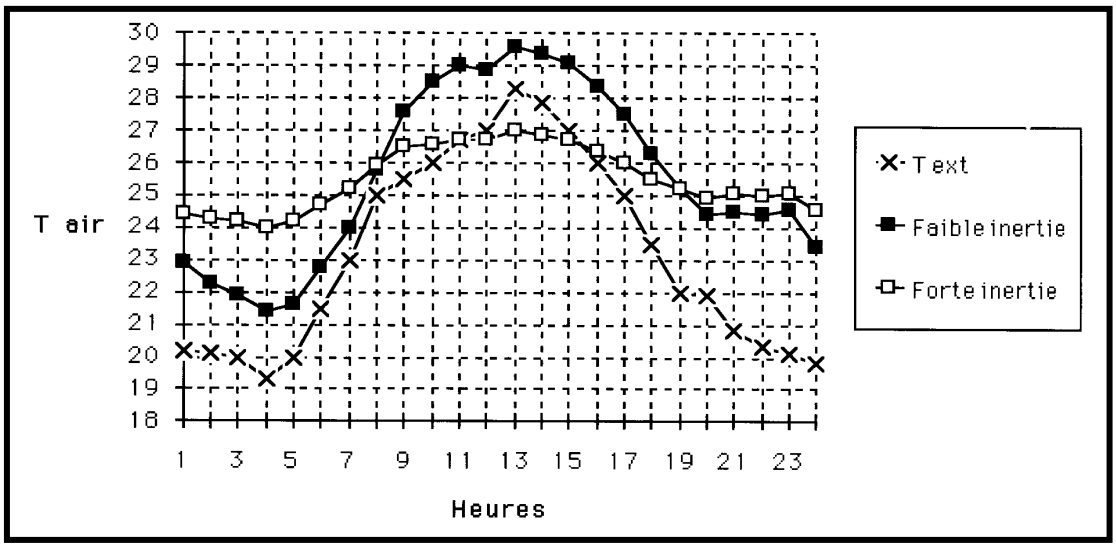


Fig-III-9- Effet de la forte inertie (Source: J.L. Izard, 1991)

III-8-2-Le mécanisme de distribution de chaleur :

Le mécanisme de la distribution de chaleur à l'intérieur d'une pièce peut être possible soit par convection (forcée ou naturelle) ou par radiation (onde courte ou infrarouge). La plus grande quantité de chaleur émise de la surface des matériaux du bâtiment vers l'air intérieur est par radiation et une plus petite, mais importante proportion de cet échange est emportée à l'extérieur par convection. Balcomb, 1983 affirme que le fait que l'échange de radiation à l'intérieur d'une pièce est dominant, c'est la principale raison que le gain direct est une stratégie solaire viable.

La convection naturelle et forcée sont essentielles pour la dissipation de la chaleur. Dans les surfaces internes du bâtiment, la chaleur est en premier conduite de la surface chaude à une couche mince intérieure adjacente. L'air a une faible capacité thermique et tend à l'augmenter surtout que la chaleur diminue sa densité. La vitesse de l'air et les variations de température sont limitées à une zone réduite à côté de la surface de la couche limite où le régime est laminaire. Cependant, selon les conditions, à quelque distance, un flux d'air turbulent peut avoir lieu. Ce phénomène déplace l'air plus frais à quelques autres endroits dans le bâtiment et résulte dans l'établissement de boucles convectives. Parfois

l'accumulation intensive de l'air chaud à un point haut dans la pièce, donne une stratification de la température. Selon Santamouris et Asimakopoulos, 1996 et Balcomb, 1983 chaque fois que le mouvement d'air dû à une action de forces tout à fait gravitationnelles, le mécanisme du transfert de chaleur est connu comme convection naturelle. Mais quand le taux du transfert de chaleur est rehaussé en introduisant un flux forcé sur la surface, il est connu comme convection forcée.

Donc la distribution de la chaleur à l'intérieur des matériaux du bâtiment varie aussi avec le temps, les conditions de surface et les propriétés thermiques du matériau.

III-8-3- Le mécanisme de stockage de chaleur:

L'usage de la masse thermique pour le stockage de la chaleur dans les bâtiments peut avoir double utilité. Pendant les saisons de chauffage, la masse thermique peut stocker la chaleur désirée, qui peut être utilisée plus tard quand la température extérieure décroît. Pendant les saisons de climatisation, elle peut aussi temporairement détenir l'excès de chaleur non désirée qui peut être évacué plus tard dans la journée.[22]

La Fig-III-10-selon A.Liebard. et A.De Herde, 1996 compare la réponse d'un bâtiment à forte inertie (masse surfacique des parois > 400Kg/m²) à celle d'un bâtiment à faible inertie (masse surfacique des parois < 150Kg/m²) en présence d'un apport de chaleur par rayonnement solaire. La surface S_1 représente l'évolution dans le temps de l'offre solaire. La surface S_2 représente la réponse du local à faible inertie et la surface S_3, celle du local à forte inertie. Au temps t_1 le rayonnement solaire est intense: la chaleur restituée par le local à faible inertie est importante alors que celle restituée par le local à forte inertie est réduite. Au temps t_2 le rayonnement solaire est faible: la chaleur restituée par le local à faible inertie est faible (les réserves de chaleur sont épuisées) tandis que la chaleur restituée par le local à forte inertie est importante (les réserves de chaleur sont élevées). L'incapacité du local à faible inertie de stocker la chaleur provoque des phases de surchauffes assez rapide en cas d'ensoleillement intense car le temps de déphasage (a) est très court. Inversement, le local à forte inertie pourra accumulé la chaleur (limitation de la surchauffe) et la restituée après un temps de déphasage (b) de plusieurs heures (b>a). Une capacité thermique très élevée (architecture troglodytique) peut induire un déphasage de plusieurs mois. [23]

[22] SOLANGE. V.G Goulart, __ *Thermal inertia and natural ventilation – Optimisation of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil,* __Thesis for the degree of Doctor of philosophy, Architectural Association of architecture Graduate School, October, 2004, p 13.
[23] LIEBARD. Alain et DE HERDE. André, __ *Guide de l'architecture bioclimatique Cours fondamental. Tome 2 : Construire avec le climat,* __ Paris: Edition LEARNT, Novembre1996, p 91.

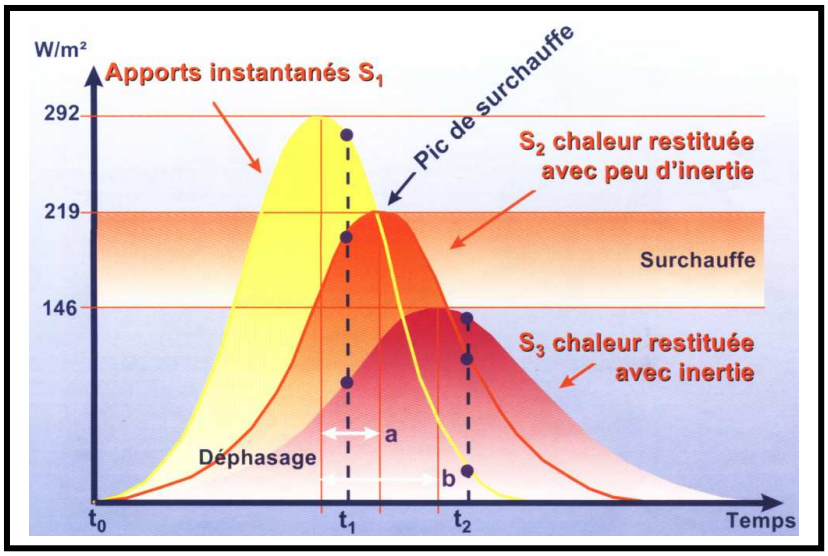


Fig-III-10- Réaction d'un local à inertie forte et d'un local à inertie faible en présence d'apports solaires (Source: A. Liebard et A.De Herde, 1996)

Les propriétés principales des matériaux qui sont en rapport avec le processus de stockage de la chaleur sont la conductivité thermique (λ), la chaleur spécifique (c) et la densité (ρ). Comme c'est mentionné auparavant, plus grand est le produit de λ c ρ, plus grands, seront la capacité thermique et le stockage du matériau.

Pour conclure, l'efficacité du stockage thermique dépend de plusieurs paramètres, tel que les propriétés des matériaux, la surface d'échange, l'épaisseur des éléments accumulateurs et leur position et orientation dans le bâtiment (comme une cloison interne ou externe).

III-9- Autres concepts en rapport avec l'inertie thermique :

Les définitions suivantes sont des concepts physiques de base, mais ils sont présentés ci après pour décrire les moyens de l'inertie thermique des composants du bâtiment. De plus, ces concepts caractérisent aussi comment le flux de chaleur se développe à travers les composants du bâtiment. Les concepts suivants sont décrits d'après Givoni (1976):

La conductivité thermique λ (lambda) indique la résistance qu'un corps oppose au flux de chaleur. Elle correspond à la densité du flux thermique traversant, en régime stationnaire, un corps homogène soumis à un gradient de température de 1 Kelvin (ou 1°C) par mètre [24] Fig-III-11-. Elle s'exprime par λ en W/ m°C.

[24] MARTI. Kurl, __ *Catalogue d'élément de construction avec calcul de la valeur U* Bern : Edition : Office Fédéral de l'Energie OFEN, 2002.

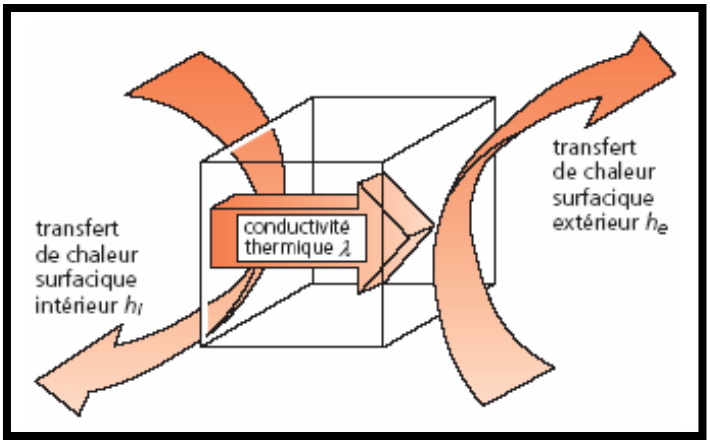


Fig-III-11- Conductivité thermique (Source: MARTI. Kurl, 2002)

La résistivité thermique (1/ λ) est le paramètre qui décrit la résistance des matériaux et les espaces d'air pour le transfert de chaleur.

La conductivité et la résistivité sont indépendantes de dimension et d'épaisseur des éléments du bâtiment. De l'autre côté, le flux de chaleur à travers un élément du bâtiment (mur ou toit) ne dépend pas uniquement de la conductivité thermique du matériau, mais aussi de l'épaisseur de l'élément. Plus grande est l'épaisseur, inférieur sera le taux de flux de chaleur. Par conséquent, la résistance thermique (r) d'un élément est exprimée par e/ λ.

Comme expliqué par Lechner en1991, sous conditions d'état stable, par exemple, 2.5 cm de bois a la même résistance thermique que 30.5 cm de béton, principalement à cause des espaces d'air créés par les cellules dans le bois. Cependant, le délai dans la conduction de chaleur est très court pour 2.5 cm de bois à cause de sa basse capacité thermique. Le béton, de l'autre côté, présente un beaucoup plus long délai de temps, dû à sa plus haute capacité thermique.[25]

L'inverse de la résistance thermique est la conductance thermique (c) de l'élément, donnée par λ /e.

Pour le calcule du taux de flux de chaleur entre l'air interne et l'air externe, la résistance thermique des couches d'air adjacentes aux surfaces, c'est-à-dire l'inverse de leurs coefficients de surface: 1/hi et 1/he doivent être ajoutés à la résistance thermique du mur. Donc, la résistance totale r d'un mur d'une seule couche au flux de chaleur entre l'air sur l'un et l'autre côté est donnée par:

[25] LECHNER. N, 1991, __ In " Thermal inertia and natural ventilation – Optimisation of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil " Octobre,2004.

$$r = 1/hi + e/\lambda + 1/he \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 8$$

L'inverse de la résistance thermique totale r est appelé la conductance thermique c , il détermine le taux de flux de chaleur à travers un composant de bâtiment donné . Il est défini par c = 1/r, donné en unités de W/(m² °C) :

Si le mur est composé de trois couches qui sont différentes en épaisseur et en conductivité, la résistance thermique totale (R) du mur composé est calculée par la somme de résistance séparée de chaque couche. Par conséquent, la conductance total K est définie par 1 / R.

$$R = 1 / hi + e_1 / \lambda_1 + e_2/ \lambda_2 + e_3 / \lambda_3 + 1/ he \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 9$$

La conductance totale de ce mur est :

$$K = \frac{1}{R} = \frac{1}{1 / hi + e_1 / \lambda_1 + e_2 / \lambda_2 + e_3 / \lambda_3 + 1/ he} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 10$$

Le rapport entre la chaleur absorbée et la chaleur emmagasinée dans les matériaux dépend principalement de la capacité thermique de l'enveloppe. D'après Givoni,1976: « *Le terme de la capacité thermique d'un mur ou d'un toit se réfère au quantité de chaleur utile pour élever la température par un degré, une unité de volume du matériau ou une unité de surface. Dans le premier cas, elle c'est connue sous le nom de la capacité calorifique volumique du matériau et en second comme la capacité thermique du mur* ». La capacité de la chaleur volumique est le produit de chaleur spécifique (c) par la densité (ρ), en unités de J/m³°C ou (KWh/m³°C). Le terme de la capacité calorifique volumique est utilisé pour caractériser le matériau, tandis que la capacité thermique est utilisée dans la description des composants du bâtiment.

Dans un multi couches de mur ou de toiture, la capacité thermique totale est calculée par la somme de la capacité thermique séparée de chaque couche, donnée par l'expression:

$$HC_T = \sum e_i \rho_i c_i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 11$$

La conductivité thermique et la capacité thermique des matériaux, aussi bien que l'épaisseur des composants du bâtiment et l'ordre de couches dans les constructions composées, peuvent être combinés en plusieurs chemins. Chacun de ces combinaisons des propriétés thermophysiques est important sous certaines conditions. Quelques combinaisons des propriétés thermophysiques sont décrites ci-après:

La profondeur que l'onde de chaleur diurne atteint à l'intérieur du matériau de stockage dépend de la propriété de diffusivité thermique. Celle ci est définie comme le rapport entre la conductivité thermique λ et la capacité calorifique volumique, en unité de m²/s.

$$\alpha = \lambda / \rho c \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 12$$

ρ est la densité, c est la chaleur spécifique et le produit ρc est la capacité volumique.

La diffusivité thermique est une propriété du matériau et non pas du composant, elle détermine le parcours de la transmission de chaleur de la surface à la profondeur du matériau. Comme c'est expliqué par Yannas et Maldonado, 1995, en général la diffusivité est plus élevée pour les matériaux de haute conductivité thermique et de basse capacité de stockage thermique. Pour les matériaux du bâtiment communs, la valeur de la diffusivité thermique est approximativement 5×10^{-7} m²/s, pendant que le bois a une valeur trois fois inférieure. Les matériaux avec les plus hautes valeurs de diffusivité thermique peuvent être plus efficaces pour le stockage de chaleur périodique (24 heures par exemple) à plus grande profondeur que les matériaux avec des valeurs inférieures.[26]

III-9-1- La constante de temps :

Le temps mis par un changement dans la température de surface pour arriver à une certaine profondeur du composant est défini par la « constante de temps ». Ce concept a été utilisé par Givoni (1976) comme « *une méthode simplifiée pour décrire la capacité du stockage thermique d'un bâtiment* ». La constante de temps est une propriété du bâtiment composant et c'est le produit de la résistance thermique (e/ λ) par la capacité thermique. Elle a une unité de temps en (h):

$$t = (e / \lambda) (e \rho c) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 13$$

Mathématiquement la constante du temps peut être exprimée par :

$$t = e^2 / \lambda / \rho c = e^2 / \alpha \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 14$$

Avec e est la profondeur ou l'épaisseur et α est la diffusivité.

Par exemple, une construction légère tel qu'une cloison en placoplâtre a une constante de temps moins d'une 1 heure, alors qu'une construction consistante de 1 m de béton a une constante de temps de presque 50 heures.

La réaction thermique des premiers centimètres de surfaces internes d'une pièce aux variations des gains internes de chaleur et l'effet subséquent dans les températures

[26] YANNAS. S, MALDONADO. E, *Handbook on passive cooling – Comfort Climate &Building Design*. London and Porto, European Commission Pascool Project, Joule II- Programme, 1995.

intérieures peut être exprimée par le concept d'effusivité thermique. L'effusivité thermique est décrite par Yannas et Maldonado ,1995 comme « *la capacité d'un matériau à absorber et à diffuser la chaleur* » et ses caractéristiques « *comment facilement la chaleur peut être absorbée à la surface d'un matériau*. » L'effusivité a tendance à être plus haute quand la conductivité thermique et la capacité du stockage de la chaleur spécifique sont hautes. L'effusivité thermique b d'un matériau homogène est défini par la racine carrée du produit de la conductivité thermique, la densité et la chaleur spécifique et son unité est $Ws^{0.5}$ / (m² °C). Elle est donnée par l'expression suivante:

$$b = \sqrt{\lambda . \rho c} \quad \text{……..15}$$

D'après Liman et Allard en1995, la diffusivité thermique varie de b = 2000 pour le béton lourd à b = 20 pour le fibre de verre léger. Le matériau tel que le bois a une valeur de b approximative à 400.

Lors du projet expérimental PASCOOL de Liman et Allard, 1995 un paramètre simple a été trouvé pour caractériser la réponse thermique d'une zone du bâtiment à un changement de pas dans le gain de chaleur est l'effusivité thermique moyenne.[27] La procédure de calcul de b_{moy} est étroitement en rapport avec le calcul de la valeur K moyen d'une zone et c'est aussi équivalent à la procédure pour déterminer la capacité de la chaleur diurne. Si la valeur de bi de chaque surface interne, si est connu et l'effusivité thermique moyenne peut être définie comme suit:

$$b_{moy} = \sum bi\ si \text{……..16}$$

Avec seulement les couches de surface exposée qui sont prises en considération et Stot est la somme des surfaces si.

Le rapport de Liman et Allard suggère que, c'est peut être une bonne approximation pour additionner seulement ces surfaces de murs qui correspondent aux matériaux massifs exposés, d'épaisseur considérable de plus de 5 cm. D'après ceci, le calcul devrait inclure les cloisons qui sont exposées des deux côtés et les surfaces vitrées devraient être négligées puisqu'elles ont une capacité de stockage thermique insignifiante.

Le rapport PASCOOL conclut que « *le concept d'effusivité est étroitement lié à l'admittance, mais il a un avantage sur la méthode harmonique parce qu'il inclut naturellement une description du stockage thermique non - périodique qui est explorée dans*

[27] LIMAN. K, ALLARD. F, __ *Ventilation – thermal mass subtask,* __ Final report, __ France University of La Rochelle, 1995.

le modelage du rafraîchissement par la ventilation nocturne ». Et continue: « *l'effusivité caractérise l'inertie thermique apparente et autorise une investigation rapide de l'influence du changement constructif de base, c'est utile pour le développement de directives de conception pour la réponse thermique dynamique*. »

III-10- Paramètres affectant la performance de l'inertie thermique:

L'efficacité de l'inertie thermique est déterminée par quelques paramètres et conditions. C'est important de comprendre la relation de ces paramètres et comment ils peuvent affecter la performance de l'inertie thermique, pour être capable d'accomplir de meilleurs résultats. L'optimisation de l'inertie thermique dépend des conditions du climat, des propriétés thermiques du bâtiment, de la ventilation, de l'isolation thermique, de l'occupation et des gains de chaleur interne. L'emplacement et la distribution de la masse thermique, aussi bien que les dimensions de fenêtre dans une pièce ont aussi une influence sur la performance. La révision suivante résume des conclusions de quelques recherches mentionnées pour illustrer comment ces paramètres affectent la performance de l'inertie thermique.

III-10-1- Conditions du climat:

Givoni,1994 explique que « *la température maximale pour laquelle la masse du stockage peut être encore utilisée dépend de la limite supérieure de l'air intérieur pour le confort humain dans les bâtiments inconditionnés. Cette limite, à tour, dépend de la pression de la vapeur ambiante et la vitesse de l'air intérieur. La pression de la vapeur dépend du climat local et donc fixe une limite climatique pour l'application de ce système* ».

Prendre en considération ces deux facteurs, la limite supérieure de la température pour le rafraîchissement par ventilation nocturne peut être, selon Givoni (1994), à conditions d'air calme approximativement de 25°C dans les régions semi -humides avec une pression de vapeur de 18 mmHg (15.3g/kg air sec) à 20 mmHg (17 g/kg air sec) à 28°C dans les régions arides avec une pression de vapeur au-dessous de 15 mmHg (12.8 g/kg air sec). Cependant, son travail suggère que cette limite peut être étendue en augmentant la vitesse de l'air intérieur, sans introduire l'air extérieur plus chaud. Si un ventilateur du plafond est utilisé pour augmenter la vitesse de l'air intérieur à 2 m/s, cette limite change à 28°C dans les régions semi - humides et 30°C dans les régions arides. Dans les régions humides, avec une pression de vapeur au-dessus de 22 mmHg, la température minimale extérieure n'est pas usuellement assez, et la moyenne diurne est trop petite, pour permettre tout stockage

nocturne frais utile pour le refroidissement par ventilation convective. Givoni (1994) indique qu'« *à certaines saisons la plupart des régions chaudes éprouvent des conditions climatiques quand les températures de nuit sont appropriées pour le refroidissement convectif*» et finalement que « *la moyenne de la température diurne de 10 °C est exigée pour obtenir un abaissement utile de la température intérieur le jour par le refroidissement nocturne de la masse structurelle*. »[28]

Szokolay en 1985 suggère aussi que l'usage de l'inertie thermique est plus approprié dans les climats où la variation diurne de la température externe est au-dessus de 10 K, comme la masse du bâtiment aide à réduire le maximum de la température extérieur et garde les conditions internes dans les limites du confort en absorbant l'excès de chaleur.[29]

La variation de la température diurne est aussi mentionnée dans une étude développée par Van der Maas et al en 1994 montre que « *pour utiliser de l'air extérieur pour se refroidir le soir, la température de sudation devrait être assez élevée avec une température moyenne et humidité dans les limites de confort* » de plus, «*les dispositions devraient être prises pour éviter l'air chaud d'entrer au bâtiment, par la diminution de la ventilation pendant le jour* »[30]

Dans un travail plus récent, Shaviv à al. (2001) calculent l'influence de la masse thermique et la ventilation nocturne sur la température intérieure maximale en été en différents endroits sous le climat chaud d'Israël. Ils trouvent que « *la température intérieure maximale dépend linéairement de la différence de la température entre le jour et la nuit du site* » et concluent que « *la masse thermique avec ventilation nocturne est efficace comme stratégie de refroidissement passif selon la température de sudation du site* ». La relation trouvée a permet d'élaborer un outil graphique simple pour prédire l'efficacité de la masse thermique et la ventilation nocturne comme stratégie de refroidissement passif. De cet outil graphique, « *pour la masse thermique lourde et la ventilation nocturne de 20 ach, la température de sudation devrait être supérieure à 6 °C pour accomplir un Tmax efficace de 3°C". Tmax est* « *la réduction dans température intérieur maximale comparée avec le maximum de température extérieure* » (Tmax = Tmax ext – Tmax int) et la masse thermique lourde, dans ce cas concerne le « *plancher lourd, comme carreaux du ciment sur*

[28] GIVONI. Baruch, __ *Passive and low-energy cooling of building*, __ USA, Van Nostrand Reinhold, 1994.
[29] SZOKOLAY. S, __ *Passive and low energy design for thermal and visual comfort*, __ Ecothecniques, 3rd International PLEA Conference, Mexico City: Eds A.Bowen and S. Yannas. Pergamon Press, Oxford,1985, pp 6-11
[30] VAN DER MAAS. J, FLORENTZOS. F, et al, __ *Passive cooling by night ventilation*, __ European Conference on Energy Performance and Indoor Climate in Buildings, vol., Lyon, France, 1994.

dalle en béton, plafond et murs externes et internes de 10cm en blocs de béton, avec le plâtre sur les deux côtés. » [31]

III-10-2- Propriétés thermiques des matériaux de construction:

Les propriétés thermophysiques des matériaux ont une influence sur la performance thermique du bâtiment. Comme c'est déjà énoncé, la haute densité des matériaux de construction est aussi un indicateur de haute conductivité thermique, c'est à dire qu'ils ont une faible résistance thermique. Par contre, les matériaux isolants ont une basse conductivité et une haute résistance thermique, donc ils font de bons isolants thermiques mais faibles pour le stockage de la chaleur. En conséquence, quand la chaleur est appliquée sur les matériaux de propriétés différentes, il y aura un effet différent sur eux.

Pour que les matériaux stockent efficacement la chaleur, ils doivent présenter de plus hautes valeurs de densité, de capacité thermique et de conductivité thermique. De plus, toutes les combinaisons de propriétés thermophysiques des matériaux sont importantes sous certaines circonstances.

III-10-2-1* Choix des matériaux et des isolants pour la construction :

L'apparition de nouvelles exigences qualitatives sur notre environnement, a conduit les architectes a se réintéresser aux matériaux et à leur mise en œuvre. Ces recherches s'accompagnent d'une prise en compte des nouveaux facteurs de notre économie, par exemple le coût écologique. Le choix des matériaux de construction, joue un rôle important dans le confort des locaux. Les matériaux idéaux sont ceux qui offrent une grande capacité calorifique. Favorisant ainsi une absorption du rayonnement solaire le jour et assurant une restitution de la chaleur la nuit, tel que la pierre et l'argile. En fait, ces matériaux sont très anciens puisque utilisés par d'anciennes civilisations. Mais aujourd'hui on les redécouvre avec leurs grandes qualités, leurs atouts par rapport aux matériaux modernes. J.M Fitch et D. Branth précisent à ce sujet que « *l'argile et la pierre sont les matériaux de plus grande capacité calorifique ceux-ci sont abondant en région désertique et c'est précisément en les utilisant que toutes les peuplades primitives du monde ont érigé leurs demeures* »[32] En ce début de millénaire, on retourne à grand pas vers le naturel, le biologique, vers des matériaux que les anciens travaillaient déjà avec un grand savoir-faire. La terre crue, comme

[31] SHAVIV. E, YEZIOTO, et al, __ *Thermal mass and night ventilation as passive cooling design strategy*, Renewable Energy 28, 2001, pp 455-452

[32] FITCH .J.M et BRANDTH .D,__ *Primitive architecture and climate* "Scientific American" Décembre 1960, p138, __ In "Architecture et volupté thermique", __ Paris: Editions Parenthèses, 1981, p 26.

le pisé, la terre cuite, l'adobe, la terre-paille et le torchis possèdent des qualités thermiques tout à fait remarquables ainsi qu'un très bon niveau d'isolation, et une inertie thermique de 12h qui amortit les variations de température quelle que soit la saison.

Les isolants sont utilisés pour assurer un certain confort : prévoir un générateur de chaleur et frein des déperditions. L'isolation est utilisée surtout à cause du mode constructif moderne qui tend à limiter l'épaisseur des parois opaques et à augmenter les surfaces vitrées. L'isolation permet d'éviter qu'il se produise de la condensation sur les parois et dans les parois. Comme elle évite la sensation de la paroi froide (Cette sensation intervient quand la température surfacique de la paroi a une différence de plus de 3°C avec la température ambiante de la pièce). Des murs bien isolés diminuent les transferts de chaleur de 25 à 35 % des transferts totaux du bâtiment.

Exemple, les biomatériaux issus de déchets de papier journal, de pneumatiques ou de matière naturelles (lin, chanvre, coco…,) nécessitent peut de transformations et de dépenses d'énergie. Non polluants et faciles à recycler et très présent dans le secteur d'isolation, les biomatériaux sont agglomérés, compactés, compressés, enchevêtrés sous forme de plaques ou de rouleaux. Ils existent aussi en granules et ouate à épandre ou projetés[33](Voir annexe-II-)

III-10-3- Ventilation:

Le rôle de la ventilation sur la performance de l'inertie thermique est principalement associé aux heures de nuit. En périodes chaudes, les températures externes sont habituellement inférieures le soir que les températures internes, donc c'est possible d'utiliser l'air la nuit pour refroidir la structure du bâtiment. Comme expliqué par Balaras en1996: « *l'air de ventilation augmente les pertes de la chaleur convective des éléments de la masse et dissipent la chaleur restituée vers l'extérieur où la température est inférieure.* »

Avant d'exposer l'interaction de la ventilation nocturne avec l'inertie thermique, quelques descriptions de base du processus de la ventilation naturelle sont nécessaires, comme suit:

La ventilation naturelle est principalement utilisée pour le contrôle de la qualité de l'air intérieur et aussi pour fournir le confort thermique en été. En général, il y a deux contributions principales d'écoulement de masse d'air pour l'équilibre de l'enthalpie d'une pièce: l'écoulement d'air pénétrant de l'extérieur par infiltration ou ventilation d'air frais et les taux d'écoulement d'air interzonale dû au transfert de masses d'air entre les zones d'un bâtiment. Les forces conductrices pour la ventilation naturelle qui influence les taux

[33] LE MONITEUR ARCHITECTURE a m c, __ N° 140 Février 2004, p 89-93.

d'infiltration ou de la ventilation dans les bâtiments sont l'effet du vent et l'effet de « stack ». Le vent crée une distribution de pression autour du bâtiment d'après la pression atmosphérique. Le phénomène d'effet du stack est causé par les différences de densité entre l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment, ou entre zones. Le comportement thermique d'une construction est fortement associé à la ventilation et à l'infiltration d'air. En même temps, l'écoulement d'air dépend des niveaux thermiques des différentes zones du bâtiment. En absence du vent, ces différences sont les seules forces motrices pour la ventilation.[34]
Signalons que la ventilation transversale à l'intérieur du bâtiment est la meilleure stratégie. Bouchehame affirme que même dans les pièces n'ayant qu'une seule paroi extérieure, la ventilation transversale peut être provoquée grâce à la distribution des pressions sur le mur exposé au vent. [35] Elle rajoute que si la pièce est à l'abri du vent une augmentation de 1°C dans la température ambiante peut être enregistrée.

Il y a plusieurs problèmes qui peuvent empêcher les occupants de rendre efficace la ventilation naturelle dans le bâtiment. Les obstacles principales sont la sécurité, l'intimité, le bruit, la pollution de l'air, la projection d'ombre pour le contrôle solaire, la prévention et l'ignorance des occupants au sujet de comment prendre meilleur avantage de la stratégie de ventilation naturelle. Il y a aussi des obstacles affrontées par le concepteur pendant le processus du conception du bâtiment, tel que les règlements constructifs en général et les règlements contre l'incendie, le besoin de fournir l'ombre, l'intimité et l'éclairage et encore, le mode d'usage de l'occupant.

C'est aussi une question spéciale quand le refroidissement naturel par ventilation nocturne est mis en usage. Pour la ventilation naturelle Van der Maas et al, 1994 affirment que c'est important d'avoir la stratégie de ventilation sous contrôle pour qu'elle soit efficace pendant les périodes chaudes, (en réduisant le taux de ventilation pendant le jour) et les solutions pratiques doivent être trouvées par les concepteurs pour buts de ventilation nocturne, qui satisfaisaient des exigences de sécurité et d'intimité aussi bien que de fournir la protection de bruit, des insectes..

Le flux d'air extérieur avec une vitesse donnée à travers le logement prolonge la limite supérieure de la zone de confort au delà de la limite pour les conditions d'air calme, et peut prévoir un effet physiologique de rafraîchissement. Ainsi la ventilation journalière peut améliorer la sensation du confort d'où le terme « Comfort ventilation » suggéré par Givoni en 1991.

[34] ALLARD. F,1998, __ In " Thermal inertia and natural ventilation – Optimisation of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil " Octobre,2004.
[35] BOUCHEHAME.Yassmina, __ *Investigation sur la performance thermique du capteur à vent pour un rafraîchissement passif dans les régions chaudes et arides. Cas de Ouargla*, Thèse de doctorat U:Constantine 2004

Givoni divise le refroidissement par ventilation en deux types de stratégies: la ventilation du confort et le refroidissement nocturne convectif. La distinction entre eux est envisagée puisque quelques éléments du bâtiment, tel que les matériaux structurants et les propriétés thermiques de la masse du bâtiment exigent différentes conceptions pour l'efficacité de chacune de ces stratégies de ventilation. La ventilation du confort fournit le confort humain direct par la recherche de l'augmentation du refroidissement convectif des occupants en augmentant la vitesse de l'air interne. Cette technique est utilisée principalement pendant la journée. Par conséquent la limite de la température pour l'application de la ventilation du confort est la limite du confort à la vitesse de l'air augmentée. Si la vitesse de l'air intérieur est de 1.5 - 2 m/s, la ventilation du confort est principalement applicable dans les régions et les saisons où la température maximale extérieure de l'air ne dépasse pas de 28-32°C, selon l'acclimatation de la population locale, et où la moyenne de la température diurne est moins de 10°C.[36] La ventilation nocturne ou le refroidissement convectif nocturne consiste dans le refroidissement de la masse structurante du bâtiment par la ventilation nocturne, en utilisant la température extérieure inférieure comme un absorbeur de chaleur. La structure refroidit peut absorber le flux de chaleur le jour suivant et fournie le confort, en réduisant à la fois les températures de l'air intérieur et de surface. C'est le principe essentiel de l'interaction entre la ventilation nocturne et l'inertie thermique du bâtiment. D'après Givoni (1991), pour augmenter l'effet de refroidissement la nuit, le bâtiment devrait être fermé pendant la journée pour éviter d'amener l'air extérieur chaud dans les pièces. Dans cette considération, la ventilation nocturne ne peut pas être combinée avec la ventilation du confort de la journée (par les moyens naturels) puisqu'elle réduira les différences de la température entre l'intérieur et l'extérieur, en diminuant l'effet d'absorption de chaleur de la masse.

Lorsque les conditions climatiques n'autorisent pas l'usage de la ventilation nocturne, puisque la température extérieure ou niveau de l'humidité sont élevés, c'est encore possible de pré- rafraîchir le bâtiment qui utilise le système d'air conditionné pendant les heures creuses. La partie de la charge de rafraîchissement sera couverte passivement par la masse refroidit du bâtiment, à condition que le bâtiment soit bien isolé et il n'est pas aéré pendant le jour. D'où, c'est possible de réduire la consommation d'énergie des bâtiments climatisés, puisque le temps de fonctionnement du système sera réduit. Selon Balaras, 1996, Keeney, K et J. Braun, 1997 pré- rafraîchir la masse thermique d'un bâtiment est une approche du stockage thermique pour le refroidissement des bâtiments commerciaux.

[36] GIVONI.B, __ *Performance and applicability of passive and low-energy cooling systems*, _ Energy and Buildings vol. 17, 1991, pp177-199.

III-10-4- L'inertie thermique et l'isolation:

Les matériaux isolants ont une haute valeur de résistivité thermique, ce qui signifie qu'un composant du bâtiment avec une couche d'isolation a une faible conductance thermique. Les tissus d'ameublement peuvent se comporter aussi comme un isolant. Il devrait être noté que, quant en considérant la masse structurelle disponible pour le stockage thermique, les éléments constructifs qui sont isolés de l'air intérieur par exemple sols couverts par les moquettes, ..etc ne devraient pas être prises en considération pour les besoins de stockage. Une matière isolante produira une montée dans la température sur la surface exposée à l'onde de chaleur, mais transférera une très faible quantité vers la couche intérieure, alors qu'une matière dense très conductrice conservera beaucoup plus de chaleur avec une petite augmentation dans sa température.

Les faibles valeurs de K signifie que le composant a un haut total de résistance thermique (R), cette caractéristique peut représenter le degré d'isolation dans un tel composant de bâtiment. Carlo et al en 2003 décrivent les simulations portées pour l'établissement des recommandations des propriétés thermiques de l'enveloppe du bâtiment, pour être employées avec l'énergie efficace par le Code nouveau de bâtiments de la ville de Salvador, localisée dans le Nord-est de Brésil. Parmi autres paramètres thermiques, l'étude a essayé d'estimer des limites de conductance thermique de murs pour cette région. La consommation d'énergie dans les bâtiments commerciaux a été utilisée comme un paramètre de comparaison. Les valeurs de K de 0.273 W/m²K à 5.263 W/m²K ont été modelées pour deux types de murs externes: murs massif et mur léger. Les analyses montrent que « *la consommation d'énergie du prototype construit avec les murs externes massifs a tendance à augmenter considérablement seulement quand la valeur de K est supérieur à 3.7 W/m²K* ». Cette valeur correspond à un mur de brique en argile solide, largement utilisé au Brésil. Cependant, la consommation d'énergie du modèle avec des murs externes légers montre une augmentation considérable pour les valeurs de K supérieures à 0.5 W/m²K. Le mur léger utilisé ici est décrit comme un « *nouveau matériau et composant qui deviennent usagés dans la construction industrielle brésilienne* ». De ces résultats, les conductances thermiques des murs suivantes ont été recommandées pour cette région: « *Pour les murs de masse, aucune limitation n'a été imposée, comme 3.7 W/m²K représente un mur en brique solide de 10 cm, mais pour les murs légers la plus haute isolation a été demandée (K = 1.2 W/m²K) pour garder la consommation d'énergie semblable aux murs massifs* ».[37]

[37] CARLOS. J, GUISI et al, __ *The use of computer simulation to establish energy efficiency parameters for a building code of a city in Brazil*, __ Building Simulation Conference Holland, 2003.

Ces résultats montrés ici illustrent, qu'en terme de leurs qualités d'isolation, les murs massifs ne rencontreront pas des exigences sévères comme les murs légers.

III-10-5- Occupation et gains de chaleur internes:

L'efficacité de l'inertie thermique dans les climats chauds dépend de la gestion correcte par les occupants et du total de gains internes des appareils. Ces derniers proviennent de toute source produisant la chaleur à l'intérieur du bâtiment. Le gain de la chaleur interne ou la chaleur produite dans un espace dépend du type du bâtiment et de son usage. Quelquefois, les gains internes consistent en chaleur radiante, qui est partiellement stockée dans le matériau de construction du bâtiment, lorsqu'on réduit le pouvoir rafraîchissant. D'après Santamouris et Asimakopoulos en1996, en général, les sources de charges internes consistent en: occupants, lumière artificielle et appareils (tout matériel mécanique ou électrique qui opère dans l'espace).

Van der Maas et al (1994) insistent que l'usage de l'inertie thermique ne soit pas suffisant si les utilisateurs n'appliquent pas correctement la stratégie de la ventilation. C'est important d'avoir la ventilation et la masse thermique exposée sous contrôle, parce que l'occupant peut priver l'inertie disponible en utilisant les faux plafonds et les revêtements de murs et de sol. En outre, la ventilation nocturne avec la technique de la fermeture le jour sont efficaces mais contrairement à la préférence des gens de vivre l'extérieur à l'intérieur.[38]

Les résultats des expériences menées par Diaz, 1994 sur quatre bâtiments en Espagne suggèrent que si les gains solaires sont minimisés, la distribution et l'exposition de la masse dans le bâtiment peuvent avoir un rôle plus considérable dans l'amélioration des conditions internes que la quantité de la masse thermique elle-même. La performance de la masse thermique peut être neutralisée par l'effet de gains de chaleur à travers la structure des éléments non - isolés ou par excès de gains internes. Cette expérience a aussi montré l'influence de gains internes en usage de la ventilation nocturne. Quand les espaces ont été occupés, il a été observé que l'efficacité de la ventilation nocturne pourrait être réduite par l'effet de gains internes. Les utilisateurs représentent donc le facteur déterminant définitif de l'efficacité de tout le système du bâtiment, en incluant la masse thermique.

III-10-6- Les fenêtres :

Les sélections du type de vitrage aussi bien que sa proportion à la surface totale du mur sont très importants pour créer un environnement intérieur désirable. Les fenêtres ont un rôle signifiant avec la responsabilité critique en reliant l'environnement intérieur des

[38] SZOKOLAY. S, __ *Thermal design of houses for warm-humid climates*, __ Building and Urban Renewal – PLEA, Louvain-La-Neuve, Belgium, 16-18 July 1996.

bâtiments à l'extérieur. Le rôle des fenêtres devient plutôt plus important quand la conception du bâtiment dépend du chauffage passif ou du système de refroidissement. Une étude sur la taille de la fenêtre par Al-Sallal, 1998 au niveau d'un étage abrité dans une maison localisée dans la ville de Fresno, en Californie montre que, bien qu'en augmentant la surface de la fenêtre du sud on peut fournir plus d'économies auxiliaire de chaleur, mais qui aura un impact négatif pendant l'été, en augmentant le gain de chaleur. D'autre part, la réduction de la surface de la fenêtre à un point qui baisse l'économie solaire de 69% à 60% ne réduit pas considérablement l'efficacité du système de chauffage passif. Al-Sallal ajoute aussi que, « *pour classer selon la taille les fenêtres pendant le processus de conception dans ce climat, on devrait commencer par les questions de refroidissement passif avant le chauffage passif* », comme une « *bonne orientation et provision de la masse thermique et isolation peuvent résoudre la plupart des problèmes d'échauffement* ».[39]

Kontoleon et Bikas (2002), considèrent l'influence du type de vitrage et le pourcentage des ouvertures vitrées (POV) dans le mur sud d'une zone en hiver et en été, sur les températures intérieures et sur l'efficacité de l'énergie. La zone étudiée comprend des murs de maçonnerie avec isolation au centre, blocs de béton horizontaux avec et sans isolation et trois types de vitrage (double, double de basse émissivité et double avec un film réflecteur). Le modèle étudié est situé à latitude 40° N et la formation des murs est typique dans le climat méditerranéen. Les résultats spécifiques obtenus de l'étude, font clarifier que la surchauffe peut être évitée et les économies d'énergie peuvent être accomplies avec la sélection adéquate du POV aussi bien que le type de vitrage et la position de l'isolation du bloc. L'analyse de la zone thermique en hiver a révélé cela dans les bâtiments avec le vitrage double et les blocs étanches, la surchauffe est observée quand le POV dépasse les 70%. En changeant l'emplacement de l'isolation à la surface externe, la surchauffe est presque évitée.

En été, la surchauffe peut être évitée avec POV < 60% et isolation extérieure dans les surfaces horizontales, à moins que le double vitrage avec un film réflecteur est utilisé; dans ce cas, la surchauffe se produit pour un POV > 80%. Du point de vue de consommation d'énergie, il a été conclu qu'en hiver (avec l'isolation dans la face externe des blocs et le double vitrage avec couche de basse émissivité) le POV optimum qui minimise la consommation d'énergie est 70%, or en été il descend à 40% avec le double vitrage à basse émissivité et à 60% avec le double vitrage avec film réflecteur.[40]

[39] AL-SALLAL. F, __ *Sizng windows to achieve passive cooling, passive heating, and daylighting in hot arid regions,* __ Renewable Energy, vol. 14, nos 1-4, pp 365-371.
[40] KONTOLEON. K, BIKAS. D. K, __ *Modeling the influence of glazed openings percentage and type of glazing on the thermal zone behaviour,* __ Energy and Buildings 34, 2002, pp. 389-399.

A. Liebard et A.De Herde (1996) précisent que « *Plus le vitrage utilisé est isolant (coefficient K faible) plus les déperditions thermique à travers sa surface sont réduites en hiver et plus le vitrage est chaud en face intérieure. Il s'ensuit que la température de l'air ambiant doit être moins élevée pour assurer le confort de l'occupant.* » La fig-III-12- ci-dessus présente les coefficients K pour trois type de vitrage et les proportions d'énergie réfléchie, transmise et absorbée permettant le calcul du facteur solaire (Fs).

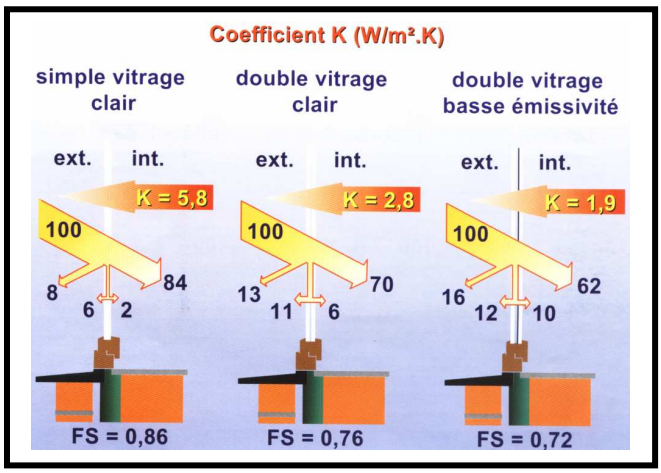


Fig-III-12- Performance thermique et type de vitrage. (Source: A. Liebard et A.De Herde, 1996)

A noter que le Fs représente le pourcentage d'énergie solaire incidente, transmise au travers d'une paroi vitrée à l'intérieur d'un local. La Fig-III-13- synthétise les caractéristiques de Fs pour trois types de verre selon A. Liebard et A.De Herde (1996). Pour un simple vitrage clair: 84% de l'énergie incidente sont transmis directement, 8% sont réfléchis et 8% sont absorbés, dont 6% et réémis vers l'extérieure et 2% vers l'intérieur. Le facteur solaire correspond à la somme des fractions transmises directement et réémises à, l'intérieur soit 86%. (Voir annexe -II- pour les valeurs de Fs selon le D.T.R)

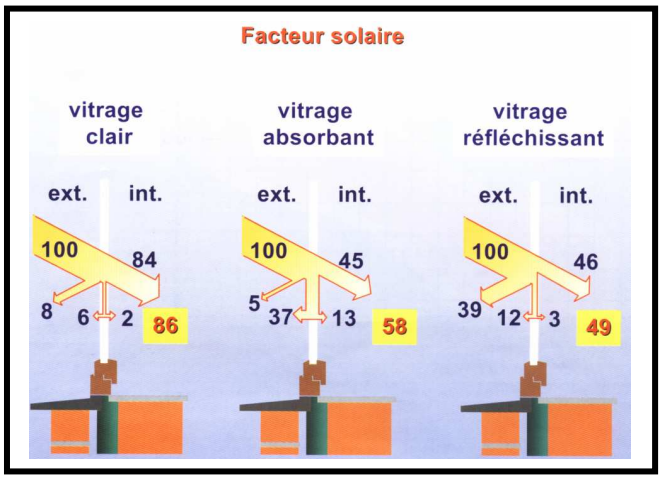


Fig-III-13- Facteur solaire pour un simple vitrage et pour un angle d'incidence donné.
(Source: A. Liebard et A.De Herde, 1996)

L'analyse de la fenêtre du point de vue thermique est très complexe, surtout dans les climats où le chauffage est essentiel en hiver et le refroidissement est exigé en été. Une fenêtre doit fournir un gain de chaleur maximal en hiver pendant le jour et la perte de la chaleur minimum le soir. De l'autre côté, la même fenêtre doit être protégée pour réduire le gain de chaleur par radiation solaire pendant le jour en été, mais qui autorise la dissipation thermique pendant la nuit. Pour résoudre ce problème, l'occultation mobile peut être utilisée, où la fenêtre peut complètement être ombragée pendant l'été, mais aussi peut être exposée à la radiation solaire en hiver.[41]

Cependant, le rôle de la radiation solaire dans la fourniture de l'éclairage devrait aussi être considéré. Shaviv et Capeluto (1992) enquêtent l'importance relative de quelques paramètres constructifs dans le climat chaud humide, et ils illustrent le besoin pour la conception prudente de l'occultation de la fenêtre les jours d'été. D'après leurs résultats la fenêtre occultée est « *le premier paramètre de conception géométrique que l'architecte devrait consacrer plus d'attention pendant le processus de la décision* ».[42]

Dans une étude développée par Corbella et Corner (2002), plusieurs simulations ont été emportées pour un environnement tropique en période d'été. En considérant dans celles-ci différents éléments de fenêtre et une gestion adéquate pour les périodes d'occupation diurnes et nocturnes. Les résultats ont montré qu'en modifiant les éléments de fenêtres (utilisation du type de verre double, fenêtres bien serrées avec des techniques de protection solaires), et la manipulation des fenêtres (temps d'ouverture et de fermeture), la conservation substantielle dans la consommation d'énergie peut être accompli. D'après leur résultat, la consommation journalière de climatisation peut être réduite de cinq fois pour les bâtiments à occupation nocturne, et de presque quatre fois dans les bâtiments commerciaux.[43]

III-10-7- Emplacement et distribution de l'inertie thermique :

D'après Balcomb (1983), les murs internes sont beaucoup plus efficaces pour le stockage de chaleur que les murs externes parce que chacune des deux surfaces, en augmentant son efficacité, peut travailler à emmagasiner la chaleur. Sur le cycle journalier, l'épaisseur active suggérée par Balcomb est typiquement de 10 cm pour les matériaux de faible densité et de 18 cm pour les matériaux de haute densité.

41 KOLOKOTRONI. M and. YOUNG. A. N,__ *Guidelines for Bioclimatic Housing Design in Greece*. Building and Environment, (1990). Vol. 25 (N. 4): pp.297-307.

[42] SHAVIV. E and CAPELUTO. I. G (1992) , __ In " Thermal inertia and natural ventilation – Optimisation of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil " Octobre,2004.

43 CORBELA. O, CORNER.V. N,__ *The window relevance for the architectonic design in tropical climate*. International Conference on Passive and Low Energy Architecture - PLEA 2002, 22-24 July, Toulouse, France

Balcomb signale aussi que les surfaces d'échange de la masse dans le bâtiment ont un rôle considérable; donc la couverture des surfaces réduira la capacité thermique effective d'un espace. Néanmoins, deux cas peuvent être discernés, selon si le matériau de stockage thermique reçoit l'énergie par radiation solaire ou par radiation infrarouge. Les gains directs de la chaleur (énergie reçue par radiation solaire) sont éprouvés par l'extérieur de l'enveloppe du bâtiment et par les surfaces internes qui peuvent absorber la radiation solaire à travers les ouvertures. Les gains indirects de chaleur sont éprouvés par les éléments opaques à l'intérieur du bâtiment (radiation infrarouge ou convection de l'air de la pièce).

Selon Balaras (1996), les emplacements directs sont beaucoup plus efficaces que les emplacements indirects, pour situer la masse du stockage thermique.
Dans les climats chauds à modérés, les conditions d'hiver et d'été devraient être prises en considération, puisque l'exposition de la surface de la masse à la radiation solaire est le facteur clé pour l'efficacité d'inertie thermique.

L'exposition et l'emplacement de la masse thermique ont aussi été explorés par Diaz (1994). Quelques analyses ont été emportées à travers des études paramétriques pour évaluer l'effet de la masse thermique sur la température interne d'un espace à une seule zone. Un cube avec une structure en béton homogène pour l'enveloppe a été utilisé comme zone de référence. L'effet de radiation solaire et gains de chaleur internes ont été étudiés en considérant deux types du cube: sans protection (exposé à l'environnement externe) et avec protection (étanche ou a avoisiné à d'autres zones). Diaz commente que l'aspect de la surface d'échange de la masse tend à varier principalement selon les gains internes et /ou si l'espace est ventilé la nuit ou pas. La plupart des cas ont indiqué que l'addition des surfaces d'échanges de l'enveloppe aide pour améliorer les conditions thermiques en réduisant les températures de sudation et la température interne. Les exceptions sont: quand la structure n'est pas protégée et le taux du gain interne est constant. Les plus hautes valeurs du rapport de la masse au plancher améliorent la performance thermique de l'intérieur quand les gains internes sont plus importants pendant le jour que le soir. S'il n'y a aucune radiation solaire qui frappe l'enveloppe de la pièce, la surface d'échange de la masse prédomine sur une épaisseur pour améliorer la condition thermique. Ce qui veut dire que si la masse thermique supplémentaire va être introduite dans le cube, se serait plus efficace de l'étendre partout dans les surfaces des murs plutôt que de la concentrée sur son épaisseur.
De plus, quelques-unes des conclusions du travail concernant l'aspect d'emplacement sont: au niveau du sol c'est où que la masse thermique a le moindre impact sur la température interne. Pour les pièces exposées à l'extérieur des quatre côtés, l'emplacement de la masse au

niveau du toit résulte en une température interne et de sudation inférieures que sur tout autre emplacement. Quand un seul mur est un élément externe, c'est là où l'emplacement de la masse crée le plus grand impact sur la température. Sur les murs internes du cube protégé, l'emplacement de la masse thermique est le moins efficace même avec l'effet des gains internes. Comme la structure devient plus lourde, l'emplacement de la masse thermique perd son importance.

Le toit est l'un des éléments du bâtiment les plus sensibles dans les climats chauds, parce qu'il est exposé à la radiation solaire la plus grande partie du jour. Il représente 60% des transferts totaux de chaleur du bâtiment. Fardheb,1987 affirme que la forte inertie du toit joue énormément sur l'amortissement du bâtiment, mais aussi sur le déphasage Fig-III-14-.

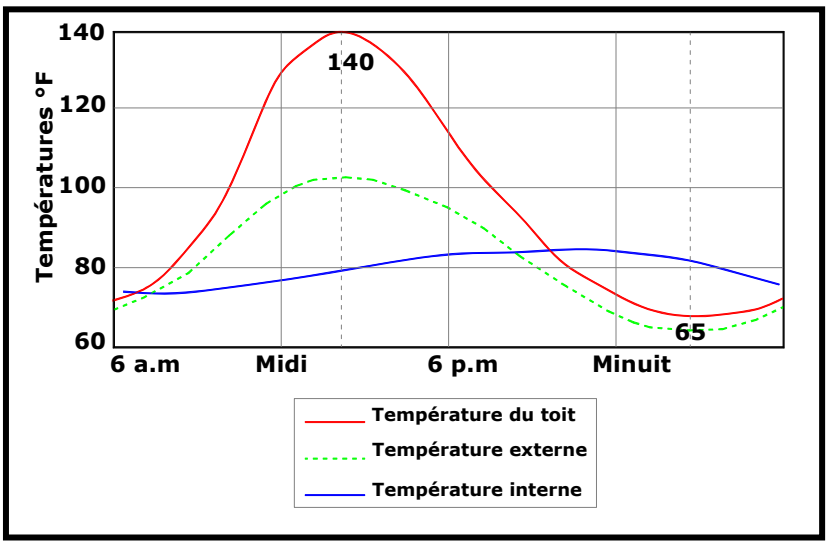


Fig-III-14- La forte inertie du toit permet un déphasage et un amortissement important

(Source: F. Fardheb, 1987, réadapté par auteur)

Balaras, 1996 rajoute que la construction du toit très lourde est exigée, mais quelque fois l'usage de l'isolation dans le toit est recommandé à cause du coût des constructions massives.

Cependant, on devrait être prudent en additionnant l'isolation dans le toit dans les climats où le refroidissement est la question principale. Les résultats de l'étude menée par Shaviv et Capeluto en 1992 montrent que la performance hivernale est très sensible à l'isolation du toit et l'avantage est, la moindre quantité d'énergie demandée pour le chauffage. Mais, ce n'est pas le cas en été, avec la bonne isolation du toit, le plus d'énergie est exigé pour le refroidissement. La raison est que le toit faiblement étanche autorise la nuit le refroidissement par conduction de la chaleur et par radiation de grande longueur d'onde. Par conséquent, la plus grande conductance du toit est recommandée.

III-11- L'inertie et la réglementation thermique en Algérie :

En plus d'un tiers de siècle d'indépendance, l'Algérie est confronté au problème de la crise de logement suite à la croissance démographique intense. La réponse à la forte demande était la quantité au détriment de la qualité. Des considérations économiques ont orienté le choix des modèles d'habitat importés en matériaux à bon marché, mais peu appropriés thermiquement. Par ailleurs l'absence de la réglementation thermique propre au pays a conduit à une mauvaise adaptation des normes étrangères, notamment françaises. D'où multiples efforts de l'Algérie pour établir une réglementation thermique. Débuté en fin de 1991 par sa participation au projet « R.T du Maghreb » avec la Tunisie et le Maroc. Soutenu financièrement par la commission européenne (DG XVII), ce projet est assisté par des experts de la C.C.E.[44] Il vise à élaborer une réglementation thermique basée sur un seuil de confort minimal, assurer naturellement sans le recours à la consommation énergétique. Ce qui est possible vu le contexte climatique et économique des trois pays.

A l'échelle nationale, actuellement le secteur de la construction est régi par une réglementation spécifique prise en charge organiquement par une Commission Technique Permanente (CTP) regroupant plusieurs organismes. Elle est composée de plusieurs types de documents :

* Les Documents Technique Réglementaires DTR
* Les Normes Algériennes NA
* Les différents guides de recommandations.

Or, cette réglementation est relativement jeune, elle connaît une algérianisation progressive de ses textes. Surtout que l'utilisation des textes d'origine étrangers, demeure par ailleurs en vigueur. On cite dans l'annexe -II- ceux qui intéressent la thermique du bâtiment et le confort intérieur, d'après le recueil de normes et documents techniques règlementaires (actualisé et arrêté en fin juin 2000).[45]

Pour l'inertie thermique pas d'exigences spécifiques dans cette réglementation, mais des recommandations générales en thermique. Vu son rôle important, l'inertie thermique doit être formulée à l'intention des décideurs, législateurs architectes et tous ce qui ont le pouvoir de promouvoir un cadre bâti résidentiel, qui pourra assurer à ses occupants un minimum de confort.

[44] ARCHIBAT, __ *Villes architecture et développement durable*. Revue maghrébine d'aménagement de l'espace et de la construction N°9, Tunisie,Décembre 2004 p 43.

[45] ORGANISME NATIONAL DE CONTROLE TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION DU CENTRE Réglementation technique Algérienne de la construction Recueil de normes et documents techniques Réglementaires, __ Alger: Edition CTC Centre, Juin 2000.

Discussion et conclusion:

Selon Givoni, 1976, le concept de l'inertie thermique d'un mur ou d'une structure d'un bâtiment dans son ensemble est étroitement en rapport avec son poids. Yannas et Maldonado, 1995 affirment que la différence dans la densité entre les matériaux structurants utilisés, est souvent reflétée dans la classification de la structure du bâtiment comme poids lourd, moyen et léger. Généralement, la plus élevée densité d'un matériau, résulte dans la plus haute capacité thermique.

Cependant, ces termes ne reflètent pas toujours l'inertie thermique efficace du bâtiment. La raison pour cela est que les bâtiments occupés combinent une large variété de matériaux structurants et non -structurants, toutes propriétés différentes, aussi bien que dans les combinaisons non- homogènes. Par conséquent, ces arrangements ont une influence sur le comportement thermique du bâtiment. Une matière légère, comme la moquette, si elle est placée sur un sol en bloc de béton de poids lourd perturbera la réception de la radiation solaire ou autres pénétration de chaleur et réagira en sens différent. L'usage de faux plafonds et des revêtements de murs et de sol peuvent dégrader complètement l'inertie disponible.

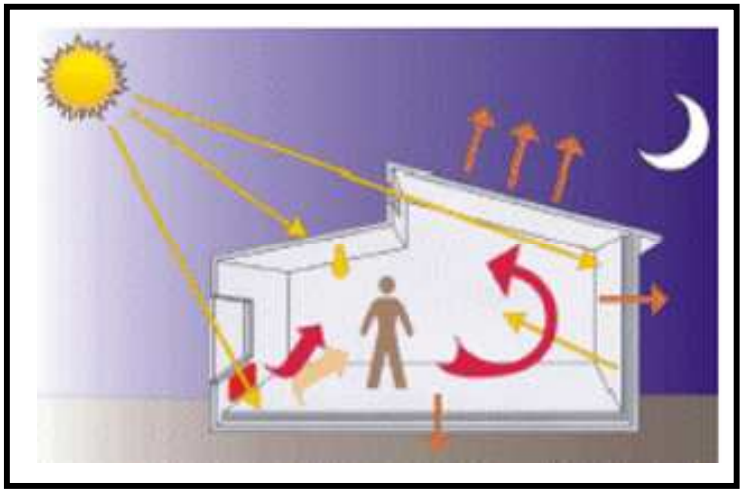
Quelques études de Balcomb, 1983, Diaz, 1994 ont montré que la masse thermique est augmentée en maximisant la surface d'échange plutôt mieux que l'épaisseur croissante. L'influence de la surface d'échange est aussi mentionnée dans l'étude de l'effusivité thermique. Pour tout gain de chaleur donné dans une pièce, la variation de la température de surface décroît avec l'augmentation de l' effusivité thermique et de la surface d'échange. Van der Maas et al, 1994 rajoutent que c'est la surface d'échange de la masse thermique est aérée, la dissipation de la chaleur sera plus importante.

L'efficacité de l'inertie thermique est aussi influencée par les gains solaires à travers les ouvertures non occultées. En jour ensoleillé, le taux de flux de chaleur est beaucoup plus grand que la plupart des matériaux peuvent s'accommoder pour très longtemps. Alors la chaleur sera redistribuée par convection et radiation de grande longueur d'onde.

Les occupants peuvent influencer l'effet de la masse thermique à travers leur comportement, en permettant à la radiation solaire de frapper la masse thermique ou permettant la ventilation, en ouvrant les fenêtres quand les températures extérieures sont trop élevées. Ces procédures peuvent augmenter la température intérieure au-dessus de la limite du confort, en réduisant l'efficacité de l'inertie thermique.

Chapitre IV :

Efficacité de l'inertie thermique



Introduction

Ce chapitre présente une révision de quelques travaux expérimentaux qui évaluent l'efficacité de l'inertie thermique sous différents climats, dans le confort hygrothermique et la consommation énergétique dans le bâtiment. De plus, les études qui répartissent l'efficacité rafraîchissante de la ventilation nocturne et son influence sur la performance de l'inertie thermique sont aussi examinées. Enfin ce chapitre expose les paramètres généraux qui affectent la performance thermique du bâtiment en relation avec son inertie.

IV-1- Travaux expérimentaux et analytiques caractérisant la performance de l'inertie thermique en été sous différents climats :

IV-1-1- Expérience au nord-est saharien « Ghardaia »:

Deux investigations de Ouahrani 1993, Ben Habib 1994 se rapportant à l'habitat nord saharien et traitant du comportement thermique de deux maisons. L'une traditionnelle lourde (en adobe) et l'autre contemporaine légère (en béton). Les résultats démontrent l'effet très positif de l'inertie thermique à la fois en saison froide et chaude. Pour ce qui est de traditionnelle, elle arrive à réduire considérablement les périodes de refroidissement et de chauffage par rapport à la construction en matériaux actuels.

IV-1-2- Expérience en France :

Pour connaître avec précision l'impact de l'inertie thermique sur le confort d'été, le C.S.T.B a récemment mené à la demande de CIMBéton une étude consacrée à ce sujet[1]

L'étude effectuée a été réalisée à l'aide du logiciel de calcul de thermique d'été pour les bâtiments résidentiels du CSTB: « COMET ». La méthode associée au logiciel suit la procédure de validation du projet de norme européen du TC89 WG6 sur les performances thermiques des bâtiments en été sans système de ventilation. L'étude traite un éventail de situations pour la France métropolitaine et porte sur des catégories de bâtiments résidentiels qui sont validés au niveau de la future réglementation thermique. Elle prend en compte :

- quatre types d'habitations: deux logements collectifs et deux maisons individuelles, dont on fait varier l'orientation, la protection solaire et l'exposition au bruit ;
- cinq types de structure de construction conduisant à tester ces bâtiments pour cinq inerties thermiques: très faible, faible, moyenne, forte et très forte ;
- deux zones climatiques, nord et sud de la France.

Il ressort de cette étude un ensemble d'informations qui méritent d'être présentées :

[1] C.S.T.B, _ *Impact de l'inertie thermique des bâtiments sur le confort d'été*, _ Rapport d'étude, 2004.

A travers deux scénarios différents de l'étude, la Fig-IV-1- montre l'impacte de l'inertie d'un bâtiment considéré sur l'évolution journalière de la température opérative[♣] comparée à la température extérieure. La lecture des courbes met en évidence que plus l'inertie du bâtiment est importante, plus la température opérative maximale et la variation de température sont faibles.

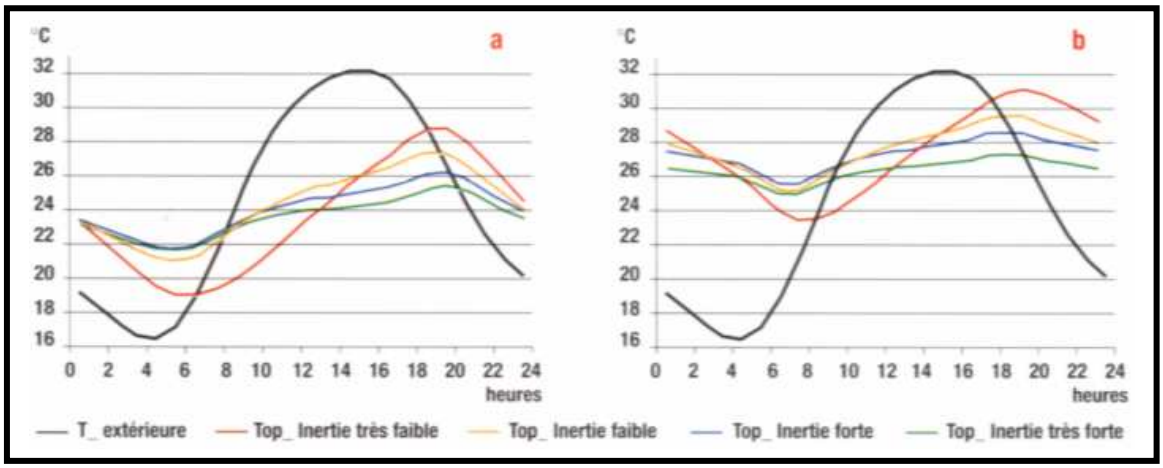


Fig-IV-1- Exemple d'évolution de la température opérative pour un logement collectif (a) et une maison individuelle (b) (Source: C.S.T.B, 2004)

La Fig-IV-2- montre la moyenne des températures opératives maximales atteintes sur l'ensemble de l'étude ainsi que la moyenne des variations de température opérative. Considérée comme seuil d'inconfort, la température de 27°C est visualisée. Le schéma met en évidence qu'une inertie forte ou très forte des habitations est favorable au confort d'été, qu'il s'agisse des températures maximales atteintes ou des variations de température jour/nuit. L'étude montre aussi que la fréquence de dépassement du seuil de 27°C pour la température opérative est d'autant plus importante que l'inertie thermique est faible.

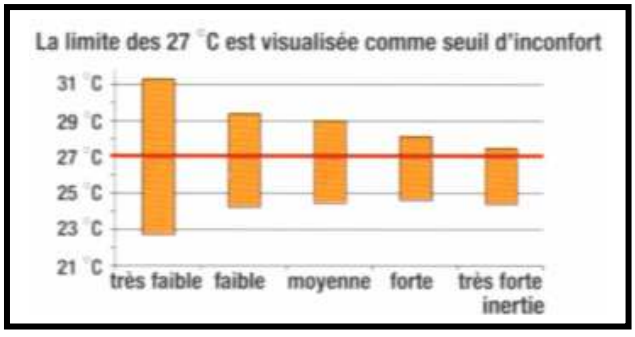


Fig-IV-2- Moyenne des températures opératives maximales atteintes et moyenne des variations de température opérative pour l'ensemble de l'étude paramétrique et par type d'inertie (Source:C.S.T.B, 2004)

[♣] Température opérative (Top) correspond à la moyenne de la température de l'air (Tair) et de la moyenne de la température radiante des parois (Trm) : Top =1/2×(Tair +Trm)

L'observation des variations de températures opératives jour/nuit est aussi très instructive en ce qui concerne l'impact de l'inertie thermique du bâtiment. En effet sur la Fig-IV-3- de fortes variations de températures jour/nuit apparaissent pour les inerties très faibles et faibles, ce qui a pour conséquence de pénaliser le confort à l'intérieur du logement. Par contre les inerties fortes et très fortes sont favorables à de faibles variations de températures opératives jour/nuit.

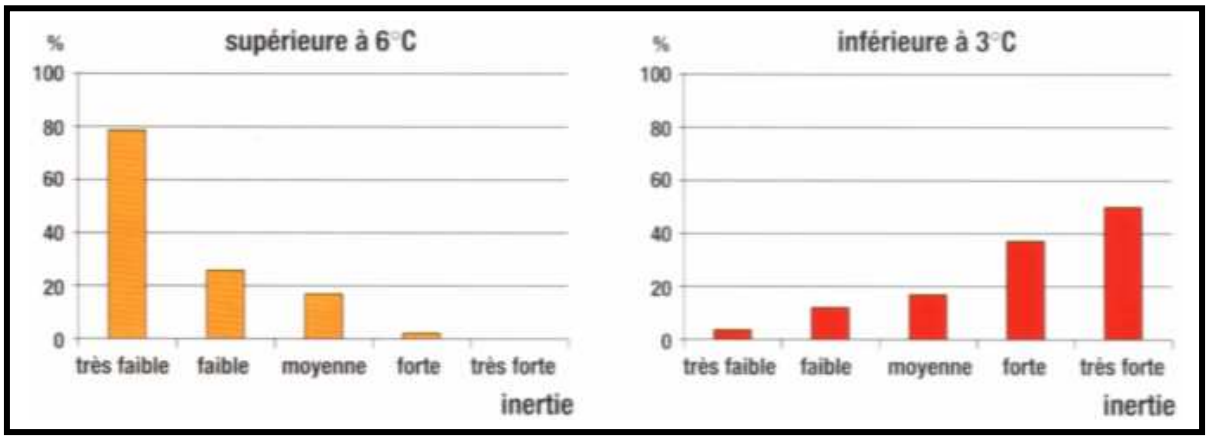


Fig-IV-3- Variation de température jour/nuit pour un jour chaud de référence: pourcentage de cas de dépassement observés par rapport à des valeurs de seuil (Source: C.S.T.B, 2004)

A noter que le matériau utilisé est le béton. La Fig-IV-4- illustre l'exemple de mur extérieur à forte inertie utilisé dans le cas de la maison individuelle, constitué de l'extérieur à l'intérieur de 1.5 cm d'enduit, de 8 cm d'isolant , de 20cm de bloc creux en béton et de 1 cm de plâtre.

La Fig-IV-5- ci après donne les types d'inertie : très forte, moyenne, très faible concernant les murs extérieurs, les cloisons, les planchers et les plafonds.

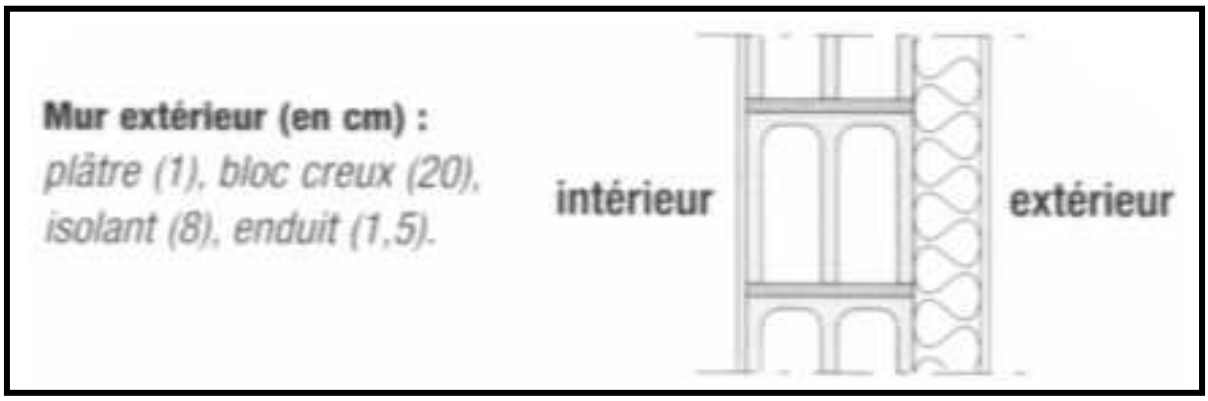


Fig-IV-4- Exemple de parois à forte inertie thermique en maison individuelle cas du mur extérieur (en cm) (Source: C.S.T.B, 2004)

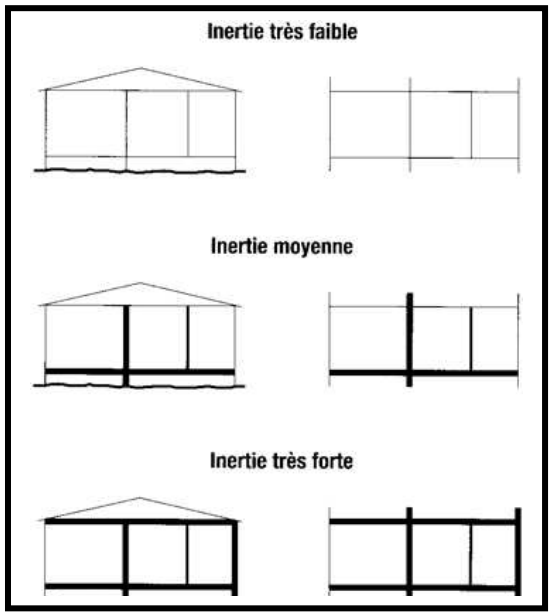


Fig-IV-5- Les types d'inertie (Source: C.S.T.B, 2004)

Il en ressort en conclusion de cette étude que l'inertie thermique permet de lisser les flux thermiques et les températures extrêmes. Elle évite les surchauffes et favorise une plus grande stabilité des températures.

Une inertie suffisante permet donc au bâtiment d'augmenter sa stabilité par rapport aux variations de la température extérieure. En revanche l'inertie pendant la nuit relève légèrement les températures minimales selon J.L.Izad, 1988, Cheng et Givoni, 2005.

Les résultats de recherches comme celle de Soebarto, 1999 montrent que les murs plus massifs tel la brique double peuvent présenter la meilleure performance pendant le jour, bien qu'ils augmentent les températures internes plus tard le soir et tôt le matin, à cause de la chaleur emmagasinée dans la masse.[2]

En réponse à cet effet gênant de l'inertie thermique, le recours à la ventilation nocturne s'avère utile pour réduire la température maximale intérieure le soir. Kammerud et al, 1983 affirment que l'effet de la masse thermique avec ventilation nocturne peut réduire le maximum de la température intérieure dans les bâtiments en été.

[2] SOEBARTO. V. I, __ *A "New" approach to passive design for residential buildings in a tropical climate*. Sustaining the Future - Energy, Ecology, Architecture, Proc. Of PLEA'99, Brisbane, Australia.

IV-2- Travaux expérimentaux et analytiques caractérisant la performance de l'inertie thermique en été sous différents climats avec l'effet de la ventilation nocturne :

IV-2-1- Expériences en climats chauds et secs:

IV-2-1-1* Expérience au Khartoum :

Une série de tests a été effectuée pour étudier l'effet de la ventilation nocturne sur le bâtiment à Khartoum.[3] On a trouvé que, si la pièce est ventilée pendant le jour, la température de l'air intérieur suit étroitement la température de l'air extérieur, et reste élevée même après que la température de l'air extérieur fût tombée. Quand la même pièce n'est pas ventilée pendant la période chaude du jour, les températures de l'air interne et de surface sont de 10-11°C inférieures que le maximum de la température extérieure. La moyenne intérieure de la température de surface de la pièce non ventilée est approximativement de 4°C inférieure que celle de la pièce ventilée. Plus tard, quand la ventilation est assurée, la température de l'air intérieur tombe rapidement et se rapproche de la température extérieure qui est plus élevée de 1°C seulement Fig-IV-6-.

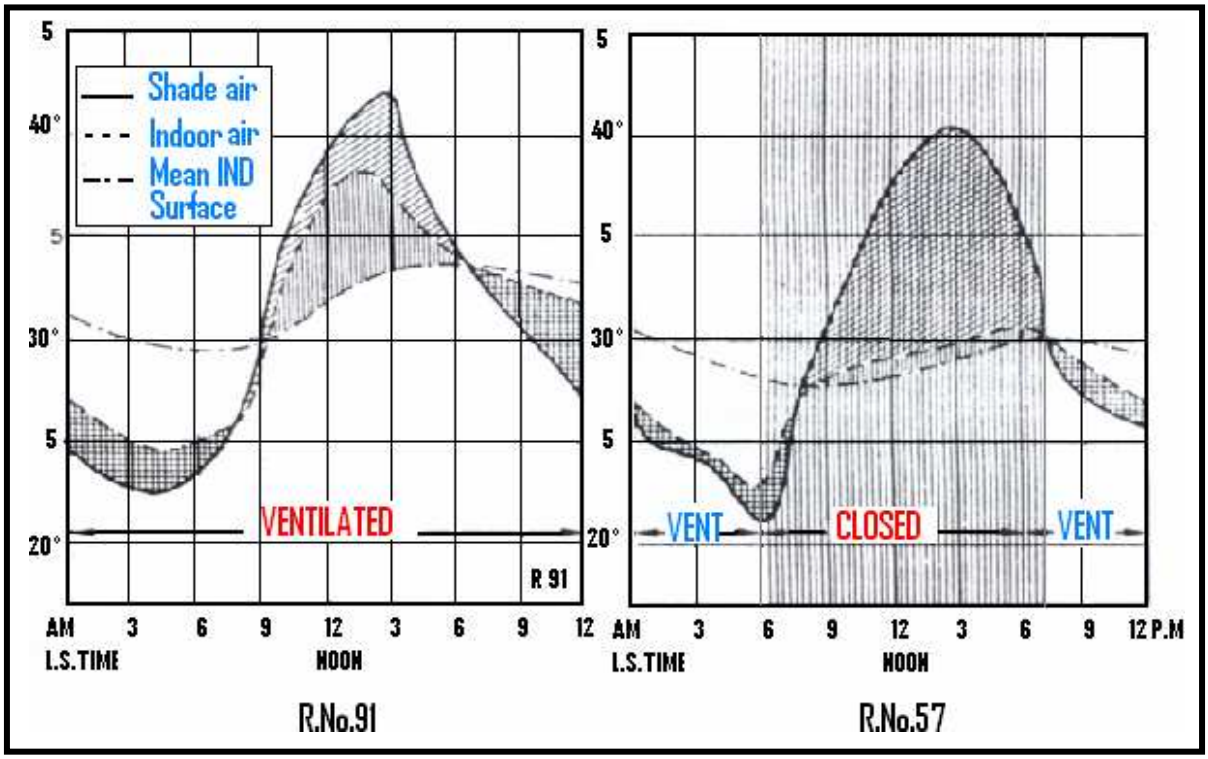


Fig-IV-6- Comparaison des températures entre les moyennes intérieure et surfacique du mur d'une pièce massive en terre, lorsqu'elle est ventilée durant toute la journée (R.No.91) et lorsqu'elle est ventilée la nuit (R.No.57). (Source: M. Danby, 1973, réadapté par auteur)

[3] DANBY. Miles, __ *The design of buildings in hot dry climates and the internal environment*, __ Build International (6), England: Applied Science Publishers Ltd, 1973 pp 55-75.

IV-2-1-2* Expérience au Jaipur, en Inde :

Les résultats montrent aussi que la masse thermique et la ventilation naturelle sont de bonnes stratégies à accomplir le confort thermique dans le climat chaud et sec le jour et froid et sec la nuit comme celui de Jaipur, en Inde. Le confort thermique dans les espaces vivants intérieurs sera permis avec la haute masse thermique, où le déphasage thermique peut être utilisé pour identifier la masse thermique optimale. [4]

IV-2-1-3* Expérience au sud de Californie:

Givoni, 1998 examine l'efficacité de la masse et la ventilation nocturne dans l'abaissement des températures intérieures à travers une étude expérimentale. Des bâtiments avec différents niveaux de masse (légère, lourde) ont été investigués en été dans un site au sud de Californie. L'investigation a été menée sous conditions de fenêtre occultée, non occultée, fermée et ouverte. L'effet de la masse dans l'abaissement des températures maximales intérieures la journée a été évaluée dans des bâtiments fermés et aérés la nuit. Les résultats montrent que la ventilation nocturne avait seulement un très faible effet sur la température maximale à l'intérieur du bâtiment de faible masse. Cependant, c'était très efficace dans la diminution de celle-ci pour le bâtiment de lourde masse en dessous du maximum extérieur, surtout pendant les périodes de vague de chaleur. Il est démontré par le résultat dans un jour extrêmement chaud (maximum extérieur de 38°C) où la température maximale intérieure était seulement 24.5°C (une réduction de 13.5 °C). [5]

IV-2-2- Expériences en climats chauds et humides:

D'après les principes traditionnels, il n'y a aucun avantage de l'inertie thermique dans les climats chauds et humides par rapport aux climats chauds et arides, puisque l'amplitude diurne est habituellement faible et l'humidité relative moyenne est autour de 80%. Néanmoins, cette approche traditionnelle a été questionnée et des études récentes ont montré que l'inertie thermique peut être aussi utile dans les climats chauds et humides, bien que d'autres attributs doivent être considérés, que seulement la masse thermique.

[4] NARAYAN. Thulasi, __ *A passive courtyard home in Jaipur, India: design analysis for thermal comfort in a hot desert climate*, _ Arizona State University, __ [En ligne] Thulasi.Narayan@asu.edu Last Saved On: 03/02/2005.

[5] GIVONI. B, _ *Effectiveness of mass and night ventilation in lowering the indoor daytime temperatures. Part I: 1993 experimental periods*, __ Energy and Buildings (1998), vol. 28: pp. 25-32.

IV-2-2-1* Expérience en Israel :

Une simulation portée avec le logiciel « ENERGY model » pour prédire la performance thermique de la construction. Les résultats obtenus montrent que sous le climat chaud et humide d'Israël, c'est possible d'accomplir une réduction de 3 à 6 °C dans un bâtiment lourd sans le recours à la climatisation. La réduction exacte atteinte dépend du poids de la masse thermique, le taux de ventilation nocturne, et la température de sudation (Tswing) entre le jour et la nuit. On a trouvé que le maximum de la température (ΔTmax) obtenu à l'intérieur dépend linéairement de la différence de la température entre le jour et la nuit. Si le bâtiment possède une grande masse interne l'augmentation dans la température de l'air est lente. La masse thermique avec ventilation nocturne est efficace comme une stratégie de refroidissement passif selon la température de sudation du site. De plus, celle ci n'est pas directement en rapport avec l'humidité relative du site. Bien que, dans la plupart des cas, si l'humidité relative est élevée, Tsudat est faible. [6]

IV-2-2-2* Expérience en Australie :

Schématisée selon Liébard et De Herde, la Fig-IV-7- expose le travail d'un ensemble de simulations développées par Szokolay en 1996 visant à déterminer s'il est plus intéressant, sous un climat chaud et humide comme celui des côtes du nord de l'Australie, d'opter pour une construction légère ou massive. Les calculs cherchent à mettre en évidence les périodes et la fréquence des surchauffes sous un tel climat. L'intérêt de la simulation réside dans la possibilité de comparer plusieurs variantes, les paramètres choisis sont :

- le coefficient d'absorption du toit (0.2 ; 0.5 ; 0.8) ;
- le taux de ventilation (1ou 10 renouvellements) ;
- la nature des planchers (en bois; en béton recouvert de céramique ou en béton recouvert de tapis) ;
- la nature des murs (structure bois isolé ou pas, par 50mm de laine minérale ; brique et enduit isolé ou pas ; par l'intérieur ; brique et enduit isolé ou pas ; par l'extérieur ; mur creux ou pas) ;
- la nature des toitures (en métal incliné à 10° ou en tuiles inclinées à 20° et avec ou sans isolation de 100mm de laine minérale) ;
- l'exposition de la fenêtre.

[6] SHAVIV. Edna , CAPELUTO. Isaac. G and YEZIORO. Abraham, __ *A simple design tool for determining the effectiveness of thermal mass and night ventilation as passive cooling design strategy*, __ Faculty of Architecture and Town Planing Technion, Israel Institute of Technology . 1996

La combinaison de ces variantes donne 2268 résultats possibles. La Fig-IV-8-illustre les résultats de calcul pour une variante légère et une variante massive selon le taux de ventilation et la présence ou l'absence d'ombrage. Sur l'axe vertical on peut lire les degrés heures (Kh). La construction massive présente des degrés heures les plus inférieures le cas où elle est ombragée et avec un taux de ventilation de 10 h^{-1}. Mais si elle est ensoleillée et si le taux de ventilation est de 1 h^{-1}, les degrés heures qu'elle présente dépasse près du double son cas si elle est ensoleillée et dépasse même la construction légère.

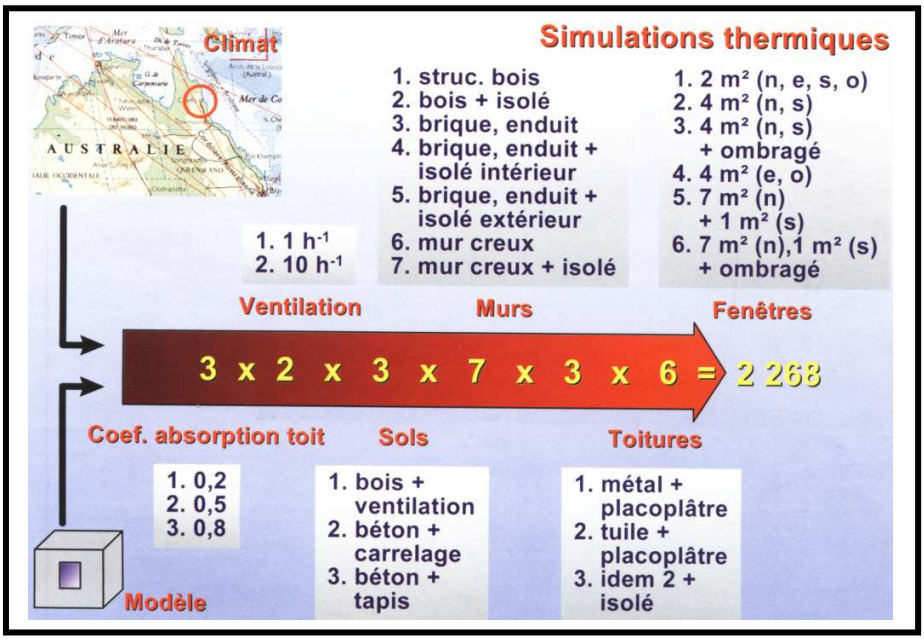


Fig-IV-7- Schéma combinatoire du calcul de la simulation thermique

(Source: Liebard, De Herde, 1996)

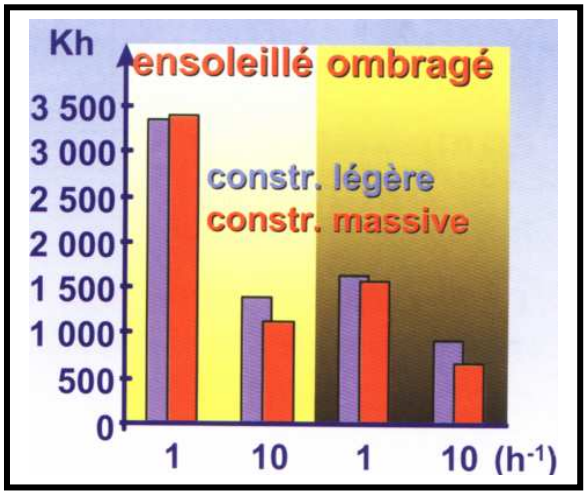


Fig-IV-8- Quelques résultats parmi les variantes calculées.

(Source: Liebard, De Herde, 1996)

IV-2-2-3* Expérience au sud du Brésil:

Solange dans sa thèse de doctorat a mené une investigation sur quatre résidences avec différents niveaux d'inertie thermiques. Les observations principales de l'investigation ont conduit au travail analytique où les études paramétriques et analyse de corrélation ont été développées, les deux sont basées sur les simulations. Les résultats montrent que l'inertie thermique dans le bâtiment ne peut être considérée autant que stratégie unique. Surtout qu'avec la ventilation nocturne, les plus importantes réductions de la température maximale interne ont été accomplies comparé au bâtiment sans ventilation nocturne (réductions de 5°C). De plus, les mesures constructives comme l'occultation et les barrières radiantes sur le toit, intégrés avec la ventilation nocturne ont fournie la meilleure réponse au bâtiment de plus forte inertie thermique. Selon Solange l'avantage principal d'un bâtiment de plus lourde masse est que la variation de température interne est faible et si proche de la température moyenne externe. La variation de la température interne d'un bâtiment de faible masse est plus grande et présente de plus grands maximums. Dans ce cas, si le bâtiment a un gain solaire important, la température maximale intérieure est proche (ou coïncide) avec le maximum extérieur Fig-IV-9-.

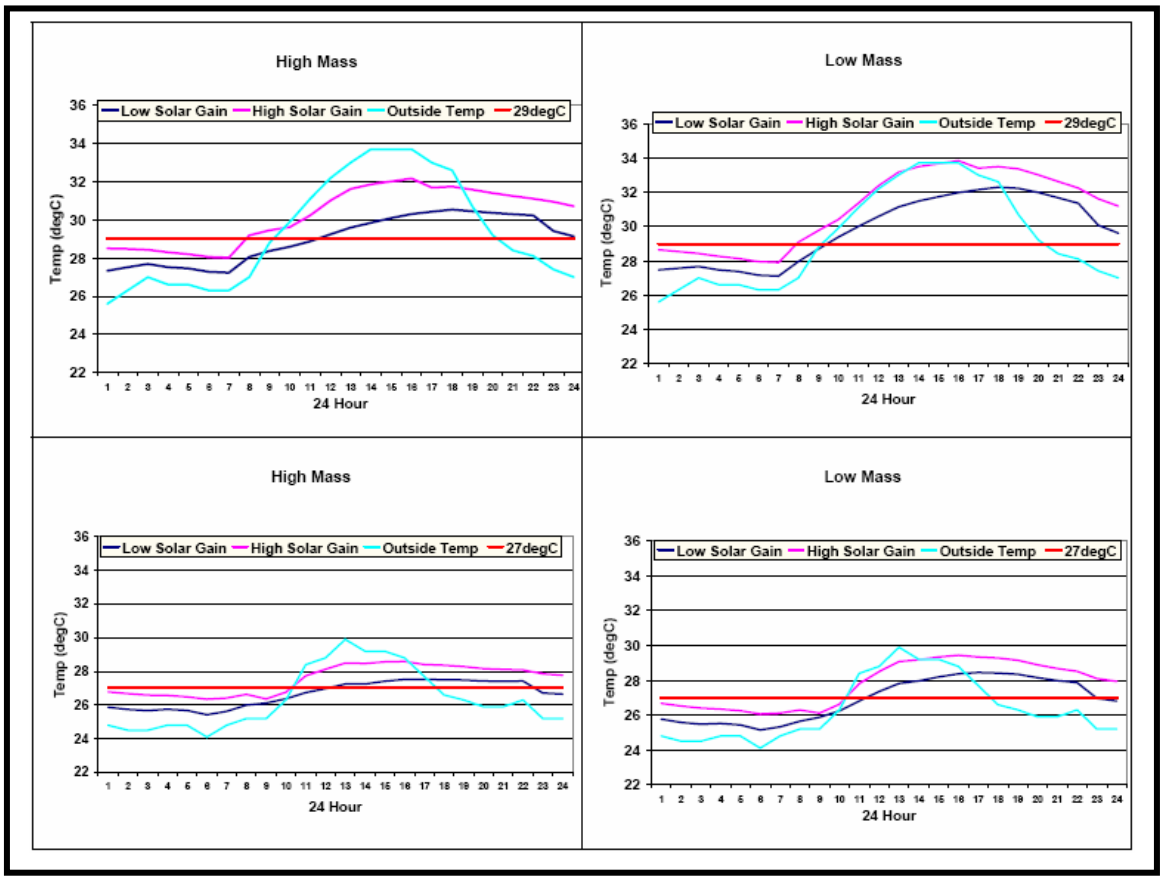


Fig-IV-9- Variation de la température interne par rapport aux limites supérieure et inférieure pour un bâtiment de lourde masse et un bâtiment de faible masse (Source: Solange, 2004)

Solange précise que l'efficacité rafraîchissante de la stratégie de ventilation nocturne est basée principalement sur le taux d'écoulement d'air, sur la capacité thermique du bâtiment et l'accouplement effectif entre l'écoulement d'air et la masse thermique. L'amplitude journalière de la température externe définit la capacité rafraîchissante de la ventilation nocturne, aussi bien que la différence relative entre la température intérieure et extérieure pendant la nuit avec l'importance de la masse thermique exposée.[7]

IV-3- Travaux expérimentaux et analytiques caractérisant la performance de l'inertie thermique en été dans le stockage de la fraîcheur nocturne :

L'inertie thermique associée à la ventilation nocturne, comme c'est déjà évoqué précédemment permet d'obtenir le confort thermique d'été dans la plupart des situations en stockant la fraîcheur nocturne qui sera restituée dans la journée. Selon Givoni, 1983, 1991, la structure refroidit absorbe le flux de chaleur et fournie le confort, en réduisant à la fois les températures de l'air intérieur et de surface.

IV-3-1- L'expérience de Hollmuller et al :

A propos de la fraîcheur nocturne, une étude récente concerne la possibilité de déphaser l'oscillation thermique portée par un flux d'air, sans quasiment l'amortir. Après une mise en évidence théorique de ce phénomène, les chercheurs présentent un développement d'un prototype pour le déphasage de l'oscillation météorologique journalière à des fins de rafraîchissement de bâtiments.[8] L'expérimentation de plusieurs matériaux de stockage comme le gravier de carrière, les billes en terre, les plaques de terre cuite et les briques perforées en terre cuite, les chercheurs arrivent à une configuration finale avec une section de 0.5×0.5m de stockage en plaque céramique de 1.7cm d'épaisseur et de 2mm d'interstice, permettant de vérifier l'extrapolation du modèle.

Le modèle ainsi validé permet de reconstruire la réponse d'un prototype de 4.5m de long, traversé par un flux de 580m³/hm², qui permettrait de retarder de 12h le pic de fraîcheur nocturne Fig-IV-10-. Intégré au système de ventilation en parallèle à la ventilation nocturne directe, le pic de fraîcheur deviendrait ainsi disponible une seconde fois au milieu de la journée. Reste à déterminer le dimensionnement idéal d'un tel système, en accord avec la dynamique du bâtiment (gains internes, masse thermique, protections solaires).

[7] SOLANGE. V.G Goulart, __ *Thermal inertia and natural ventilation – Optimisation of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil*, __ Thesis for the degree of Doctor of philosophy, Architectural Association of architecture Graduate School, October, 2004.

[8] HOLLMULLER. P, LACHAL. B et ZGRAGGEN J.M, __ *Rafraîchissement de bâtiments par déphasage thermique contrôlé*, __ Rapport d'étude, __ Ecole polytechnique fédérale de Lausanne 28 Septembre2005.

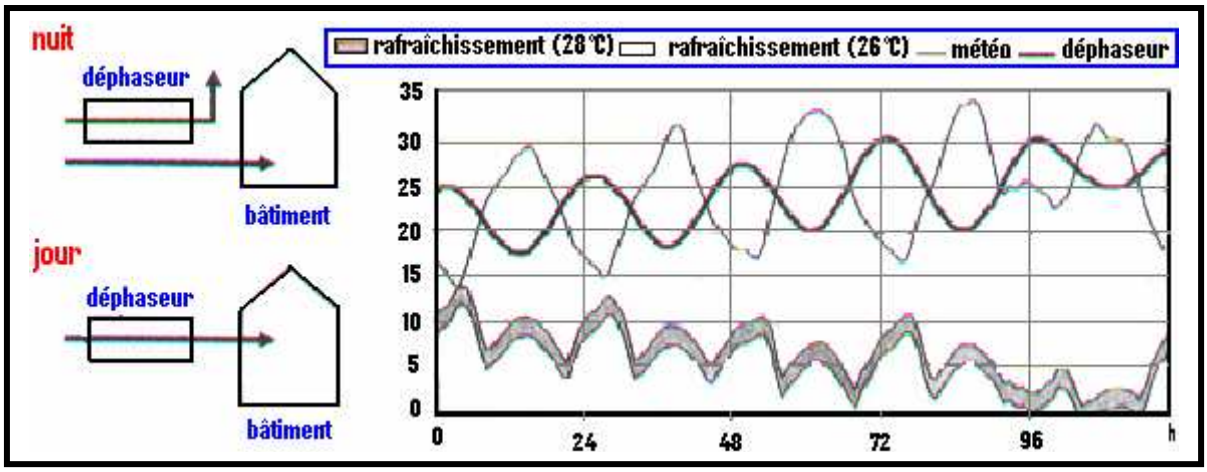


Fig-IV-10- Stratégie de ventilation et profil sur cinq jours d'été (températures de ventilation ainsi que potentiel de rafraîchissement par rapport à 26 et à 28°C

(Source: Hollmuller et al, 2005, et réadapté par auteur)

IV-4- Travaux expérimentaux et analytiques caractérisant la performance de l'inertie thermique en hiver:

L'inertie thermique s'impose aussi en hiver en limitant les fluctuations de température, ce que affirme Oliver Silder, 2003 dans son rapport de compagne de mesure menée dans la bande méditerranéenne ou provençale, et dans l'agglomération lyonnaise sur l'impact de l'inertie sur le confort et la consommation énergétique du bâtiment.[9]

Les mesures sont de longues durées, plusieurs mois au minimum, effectuées au pas de temps de dix minutes sur plusieurs types de construction à caractères et à usage différents. Logement individuel, collectifs, bureaux, lycée. etc. Aussi variées, les mesures concernent la température, intérieure, extérieure, insolation et même la consommation électrique de certains postes chaudières, pompes, ventilateurs, climatiseurs. etc

Dans l'un des cas d'étude, la Fig-IV-11- représente les fréquences cumulées des températures dans la rénovation de la Drôme (forte inertie) durant le mois de janvier. La température extérieure varie de -4 à +15°C, mais les températures intérieures sont très stables. Celle de la chambre est particulièrement intéressante puisque cette pièce n'est pratiquement pas chauffée. Malgré cela, sa température ne varie qu'entre 16 et 22°C.

[9] SIDLER. Olivier, directeur de la Sté ENERTECH, __ *L'inertie thermique en climat méditerranéen. Confort et consommations d'énergie*. Montpellier, Colloque le 15/05/2003. Email : silder@club-internet.fr

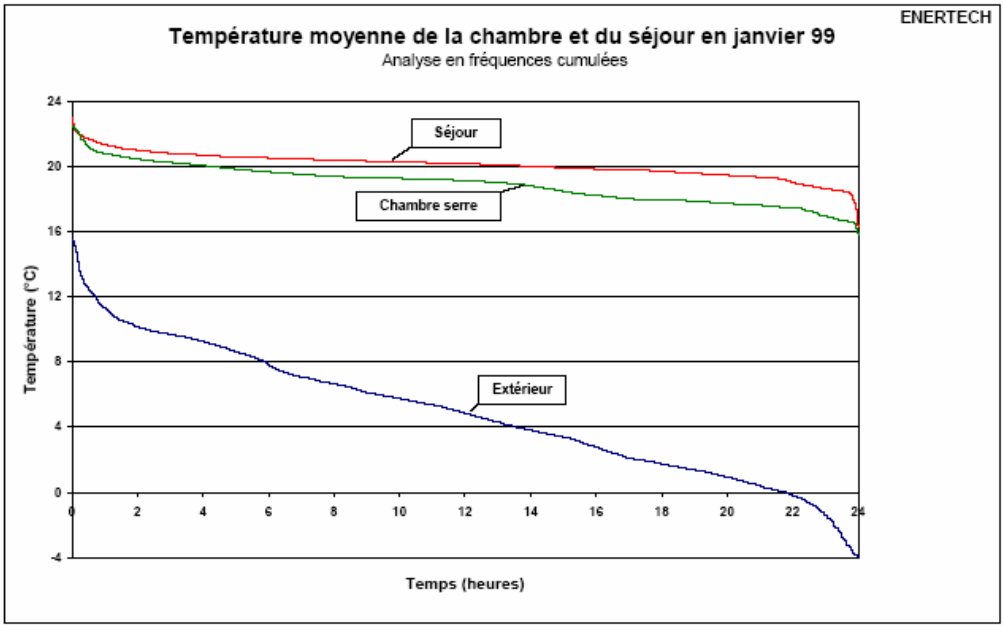


Fig-IV-11- Fréquences cumulées des températures intérieures et extérieures au mois de janvier dans la Drôme - forte inertie - (Source: O. Sidler, 2003)

La Fig-IV-12- montre, au mois de décembre, l'évolution des températures dans des logements à Villeurbanne (Opération C - forte inertie). Certes, le chauffage est là dans ce cas pour réguler la température intérieure. Mais une grande stabilité, à la fois pour la température dans le séjour et pour la température dans la véranda (non régulée). Les périodes d'insolation ne correspondent pas à des périodes de surchauffe dans les vérandas grâce à la forte inertie.

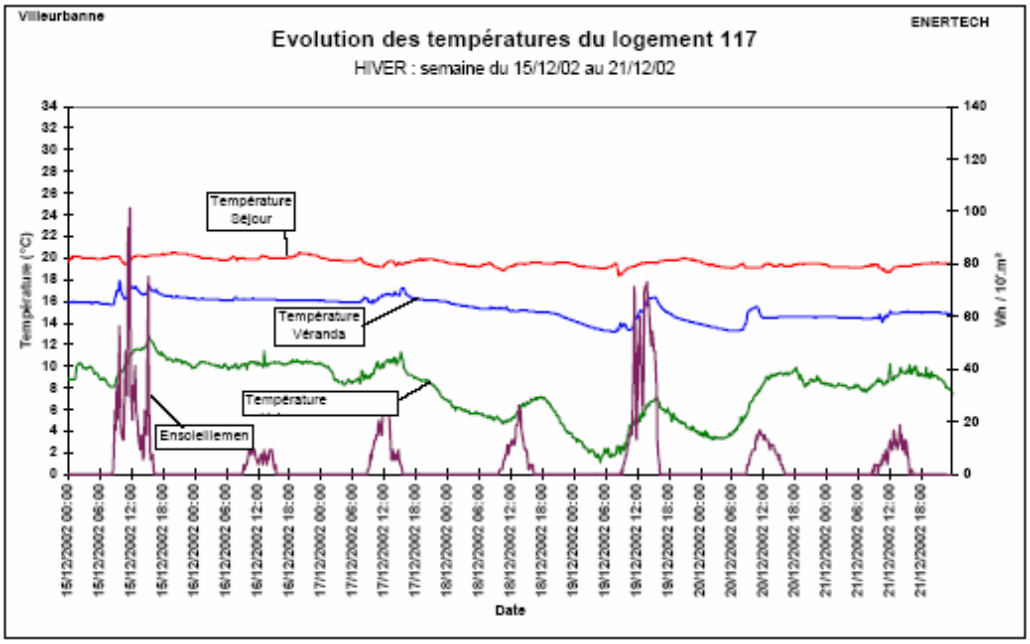


Fig-IV-12- Insolation et températures en décembre en logements à Villeurbanne

(Source: O. Sidler, 2003)

L'inertie thermique permet de plus la bonne gestion de la chaleur en mi saison. La Fig-IV-13- concerne la rénovation la Drôme (inertie très lourde).

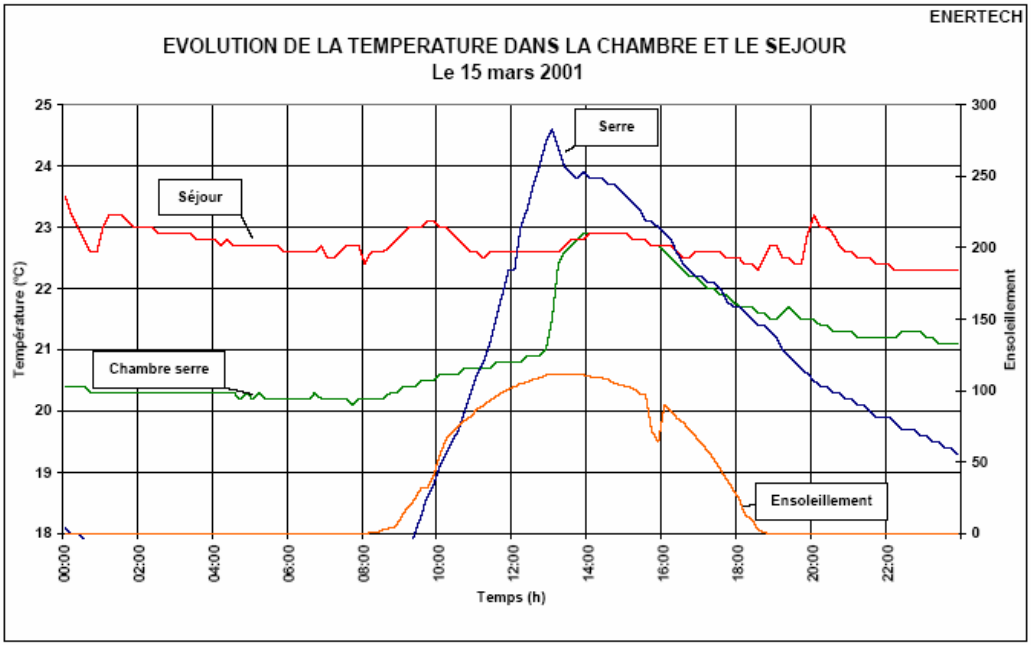


Fig-IV-13- Evolution de la température, journée du 15 mars dans la Drôme - Forte inertie -

(Source: O. Sidler, 2003)

La figure montre les paramètres (ensoleillement, températures) pour le 15 mars, donc en mi-saison. Il s'agit d'une journée très ensoleillée. La température dans la véranda, elle-même très inerte, ne dépasse pourtant pas 24,5°C. Mais le plus intéressant est la gestion de la température dans la « chambre sur serre » qui n'est pas chauffée : vers 13h, la fenêtre de cette chambre sur la véranda est ouverte. Aussitôt la température dans la pièce augmente, mais ne dépasse pas 23°C. En soirée, l'effet du stockage de chaleur due à l'inertie, puisque suite à cette journée ensoleillée, la température à minuit est dans cette pièce de 21,2°C contre 20,4°C à la même heure la veille. Malgré le faible ensoleillement dans les jours qui ont suivi, la température dans cette pièce restera supérieure à 20,5°C pendant 3 jours. Ceci met bien en évidence la gestion optimale des apports de chaleur due à l'inertie thermique.

IV-5- Travaux expérimentaux et analytiques caractérisant la performance de l'inertie thermique en hiver dans la consommation énergétique :

Une partie substantielle de la consommation énergétique dans l'habitat est due au chauffage. Bien qu'en hiver l'inertie thermique d'un bâtiment comme c'est déjà mentionné autorise l'énergie (de l'irradiation solaire et des appareils de chauffe) à l'intérieur. En temps d'abondance, Cette énergie est stockée dans les structures internes et externes du bâtiment, puis transférée après quand la température intérieure diminue. Donc l'inertie thermique

limite le besoin de chaleur des systèmes de chauffage sans affecter considérablement le confort thermique. Cette question a été étudiée par Brun et Isfält 1973, 1983; Andersson al 1979; Barnaby al 1989; Simmonds 1991; Abel et al 1992; Gorman 1995; Burmeister et Keller 1996; Johannesson 1981; Akander 1995. Il y a aussi un intérêt croissant à ce sujet qui est reflété dans les publications de Winwood et al 1994 et Standeven al 1998.

IV-5-1- Expérience à Stockholm :

Trois différents types constructifs de bâtiments ont été utilisés dans une étude menée par Norén et al pour l'évaluation des besoins de l'énergie en hiver (mur léger, mur en bois et mur massif en béton) Fig-IV-14-. Les bâtiments ont des dimensions extérieures identiques et l'état stable calculé de la transmission thermique est exactement le même mais l'inertie thermique des matériaux choisis est différente. Le climat extérieur et le taux de changement d'air sont les mêmes pour tous les cas. Le but de la recherche et de ses conditions préalables, est l'identification d'une capacité considérable dans la réduction du besoin en énergie dans les bâtiments par le choix différent des matériaux de construction.

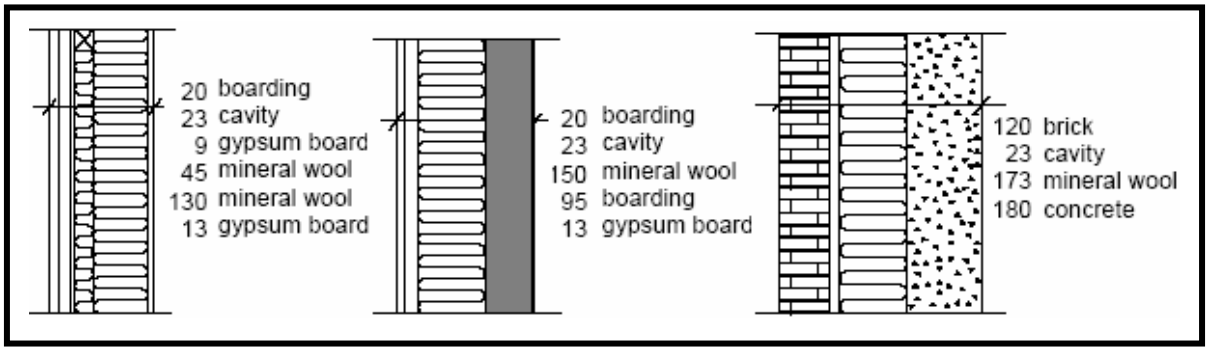


Fig-IV-14- Les trois type de mur étudiés, de gauche à droite : le mur léger, le mur en bois, le mur massif en béton. (Source: Assima Norén et al, 1999)

L'étude consiste en simulations des processus thermiques dans les bâtiments pendant la saison de chauffage à Stockholm, exécutées avec trois programmes indépendants : le TSBI3 du Comité du Bâtiment danois et BRIS du conseil suédois pour la recherche en bâtiment et le troisième est basé sur une procédure du calcul standardisée, EN 832, qui fait prédire le besoin en énergie des bâtiments résidentiels, comme proposé par le Comité Européen pour la Standardisation (CEN). Les trois programmes montrent tous que le système avec la plus haute inertie thermique a le moindre besoin en énergie, et qu'un petit changement de l'inertie thermique a relativement une grande influence. Le bois par exemple, matériau d'une grande inertie thermique et d'un assez faible poids. Il donne un besoin en énergie inférieure qu'une construction légère traditionnelle, mais pas aussi bas qu'une construction massive en béton.

Chaque type constructif est testé selon deux cas. Au cas A les fenêtres sont en triples vitrage et au cas B en double - vitrage. Exemple, les résultats de simulations par TSBI3 montrent dans les deux cas A et B, la plus grande demande de chauffage saisonnier est en bâtiment construit en mur léger, et la plus faible demande est pour le bâtiment construit en mur massif Fig-IV-15-.

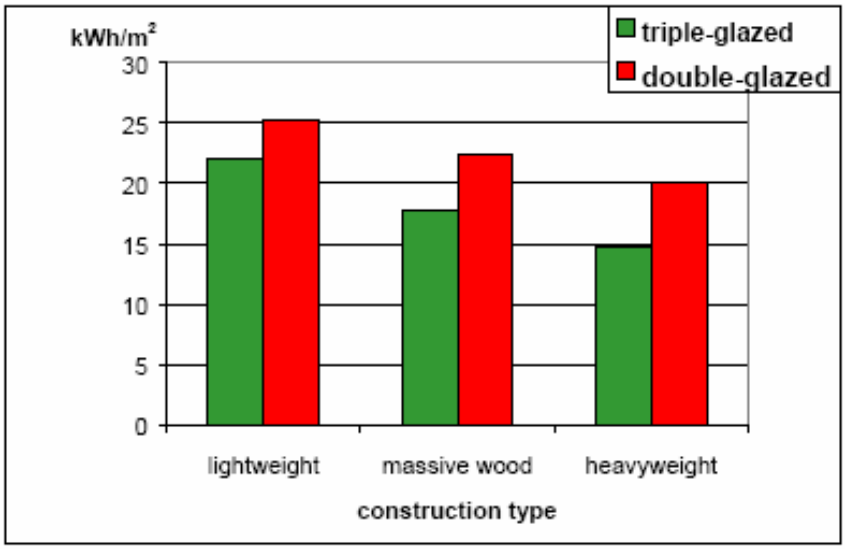


Fig-IV-15- Diagramme de la demande spécifique en énergie (KW h /m², an) du bâtiment

(Source: Assima Norén et al, 1999)

Selon Norén et al, le bâtiment léger (faible constante de temps) réagit plus vite sur les changements du temps et la variation dans les gains de chaleur internes que les bâtiments plus lourds. Même pendant une courte période de temps froid, la chaleur doit être fournie dans le bâtiment léger. Alors que de telles périodes peuvent être passées sans chauffer dans les constructions avec plus forte inertie thermique, à cause de la chaleur stockée dans la structure des périodes antérieures plus chaudes. Comme la température de l'air de la pièce est souvent inférieure dans le bâtiment léger, cela affecte en conséquent les valeurs moyennes pour la saison entière même.

Norén et al rajoutent que même une petite augmentation de l'inertie thermique porte un effet dans l'abaissement de la demande en énergie spécifique. Mais cet effet diminue avec une augmentation supplémentaire de l'inertie thermique. Leurs résultats montrent aussi que ce n'est pas seule l'isolation qui baisse l'exigence d'énergie dû à l'augmentation dans la résistance thermique de la construction, mais c'est aussi grâce à l'augmentation dans l'inertie thermique.[10]

[10] NOREN Assima and al, __ *The effect of thermal inertia on energy requirement in a Swedish building- Results obtained with three calculation models,* _ International Journal of Low Energy and Sustainable.Vol.1, April 1999, p1-16.

IV-6- Paramètres généraux affectant la performance thermique du bâtiment en rapport avec l'inertie:

Divers résultats de recherches comme ceux de Maldonado et al, 1997; Diaz, 1994; et Szokolay, 1996, 2000, affirment que quand d'autres aspects sont considérés, tel que l'occultation des surfaces vitrées, la ventilation nocturne, le peu de surfaces des parois exposées à l'extérieur, la construction de poids lourd montre la meilleure performance thermique à la fois dans le résidentiel et le tertiaire.

Pour Iben Salah, les facteurs affectant la performance thermique des bâtiments se résument dans : [11]

- le micro climat du site;
- l'orientation des bâtiments;
- la forme des bâtiments;
- l'enveloppe et les fenêtres;
- l'infiltration d'air;
- le système de ventilation utilisée;
- le système d'éclairage utilisé;
- les besoins de l'utilisateur et ses activités.

Maldonado quant à lui, les mesures nécessaires pour réduire les charges thermiques en été (réduire la différence entre températures de l'air intérieur et celles de l'extérieur) peuvent être déduites d'une simple balance d'énergie du bâtiment :[12]

- l'isolation de la façade, pour empêcher la pénétration des gains résultants de l'incidence des radiations solaires et de la température ambiante extérieure.
- l'usage de couleurs claires au niveau des surfaces extérieures du bâtiment et pratiquement en toiture.
- l'occultation efficace des surfaces vitrées afin d'éviter les radiations solaires directes, et en même temps qu'elle soit praticable, permettant à une quantité de radiation diffuse d'éclairer l'espace intérieur le jour.
- l'orientation du vitrage au sud et au nord est préférable. L'est, l'ouest, le sud-est, le sud - ouest et orientations horizontales doivent être évitées autant que possible, pour

[11] EBEN SALAH M.A, __ *Impact of thermal insulation location on building in hot dry climates*,__ Rapport de recherches Saudi Arabia: King Saud University, Department of Architecture and building sciences, 5 june 1989.
[12] MALDONADO. E and OLIVIERA FERNANDES.E, __ Building thermal regulations : why has summer been forgotten?1993,__ In Proceeding of the 3rd European Conference on Architecture, Florence Italy, pp 626-630.

deux raisons qu'elles reçoivent une grande quantité de radiation incidente, avec une plus grande difficulté pour leur fournir l'occultation efficace.

- l'utilisation d'une forte inertie thermique pour assurer une température de sudation journalière faible à l'intérieur.
- le scellement de l'enveloppe pour réduire l'infiltration d'air quand la température extérieure est plus élevée que celle de l'intérieur.
- prévoir des fenêtres opérables et sécurisées, assurant la ventilation lorsque la température extérieure est inférieure à la température intérieure (le plus souvent la nuit).

Maldonado affirme que « *ces mesures simples doivent largement être utilisées dans toute conception des bâtiments, mais aussi équilibrées avec les besoins hivernaux. Comme elles doivent être adaptées au degré de sévérité de l'été dans chaque climat local. Il rajoute que ce n'est pas la technologie sophistiquée qu'on a besoin, mais le bon sens du savoir concevoir des bâtiments avec de telles mesures de bases très simples*. » [13]

IV-6-1- L'orientation et la forme du bâtiment:

L'orientation d'un bâtiment répond à plusieurs critères: les besoins en lumière naturelle, l'intérêt d'utiliser le rayonnement solaire pour le chauffage, ou au contraire la nécessité de s'en protéger pour éviter la surchauffe, la protection du vent en hiver ou en tiré profit pour le rafraîchissement d'été, sont autant de paramètres importants pour le choix de l'orientation.

Aussi, la forme compacte, la réduction de la surface d'échange avec les variations climatiques permet de réduire la suturée exposée avec l'environnement extérieur. Danby affirme q'une forme rectangulaire avec trois élévations dans la direction de la plus grande pénétration des gains solaires donne de meilleurs résultats.[14]

Une construction adaptée aux contraintes du bâtiment permet de réduire les consommations de chauffage et d'éclairage en hiver. La Fig-IV-16- illustre ce dernier point en comparant les besoins annuels de chauffage d'une habitation selon l'orientation et la proportion de ses vitrages (rapport de la surface vitrée à la surface de la façade). D'après la figure, une diminution des besoins de chauffage pour l'orientation sud alors qu'ils ne cessent d'augmenter pour l'orientation nord.

[13] MALDONADO. Eduardo, __ *Towards the wider use of passive cooling in buildings,* __ Solar Architecture, 1995 p45.
[14] DANBY. Miles, __ *The design of buildings in hot dry climates and the internal environment,* __ Build International (6), England: Applied Science Publishers Ltd, 1973 pp 55-75.

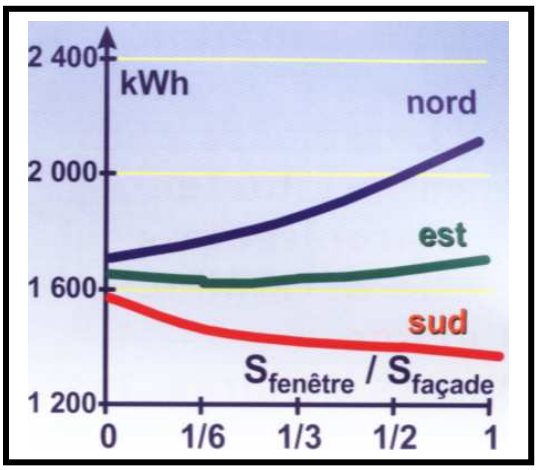


Fig-IV-16- Variation des besoins annuels de chauffage d'une habitation en fonction de l'orientation et de la proportion de surface vitrée. (Source: Liebard, De Herde, 1996)

Aussi l'orientation avec une forme du bâtiment adéquate, permet minimiser les gains de chaleur en été. Gellert Cuba a proposé son concept de l'axe thermique minimal, il a démontré qu'un bâtiment rectangulaire à Khartoum peut être orienté jusqu'à 20° de la normal de l'axe recommandé est-ouest sans qu'il y une augmentation des gains solaires. Kuba se conclut que la distribution asymétrique de la radiation solaire en climat chaud peut être utilisée dans la sélection de l'orientation et la forme des bâtiments pour donner de plus petites surfaces verticales irradiées envers la pénétration maximale des gains solaires.[15]

L'influence positive de l'orientation sur le bilan thermique annuel présente un intérêt capital. En plus des apports solaires, l'orientation au sud peut contribuer à diminuer les pertes par infiltration d'air par les huisseries (vents d'hiver du nord-ouest). Les ouvertures à l'est ont l'avantage de favoriser le réchauffement matinal de la maison, et les premiers rayons du soleil peuvent être une composante psychologique agréable. Au contraire, les calories récupérées par les fenêtres à l'ouest arrivent en fin de journée et risquent de provoquer des surchauffes en automne et au printemps, surtout si l'on a de grandes baies vitrées. G.S.Yakubu, S.Sharples 1992 ont vérifié l'effet important de l'orientation ouest sur l'élévation de la température intérieure.

D'après E. Durant « *Une construction intelligente doit tenir compte de l'environnement climatique : soleil, vent, pluie, orientation des pièces en fonction de leur usage* ».[16]

[15] CUBA. Gellert. K,1970, ___ In " The design of buildings in hot dry climates and the internal environment", Build International (6), England: Applied Science Publishers Ltd, 1973 pp 59-60.
[16] DURANT. Eric, ___ *L'habitat solaire et maîtrise de l'énergie*, ___ Revue Systèmes Solaires N°17/18 Octobre/Novembre 1986, p10.

La conception intérieure des espaces joue également un rôle primordial pour une bonne isolation thermique. L'A.D.E.M suggère des "zones tampons" aménagées au côté nord, afin de réduire l'impact du froid. Des pièces peu utilisées comme la salle de bain, garage, buanderie, escaliers, couloirs, etc. constituent des zones tampons idéales. Sud, sud est et sud ouest pour les pièces principales; nord pour les pièces de service Fig-IV-17-.

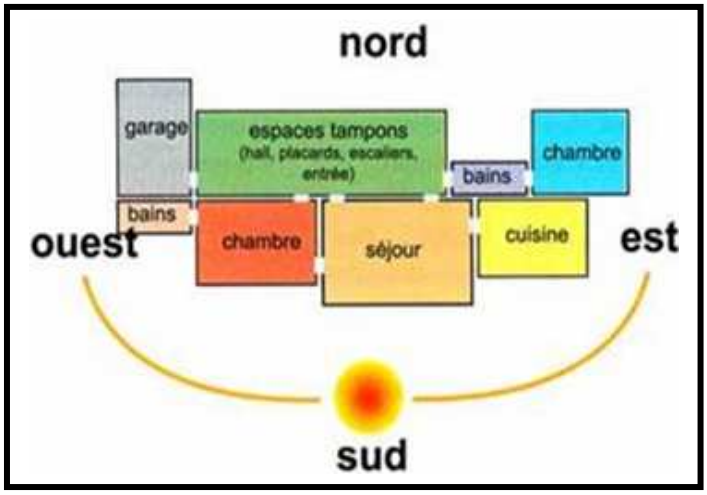


Fig-IV-17- Orientations favorables des pièces (Source : A.D.E.M, 2000)

D'autres part à l'échelle du micro climat, plusieurs chercheurs comme Houdson, 1976; Konya, 1980; Cook, 1981; Fowler et Burr, 1981; Fardaheb, 1987; Marhoud, 1987; Al Azzaoui, 1990 insistent que les effets de l'orientation majeurs des rues dans les directions est-ouest, favorisent pour les façades un minimum de gains solaires pour celles orientées nord et un meilleur contrôle de ces apports pour celles orientées au sud.

IV-6-1-1* Rapport de l'orientation et l'inertie thermique du bâtiment :

La Fig-IV-18- présente des simulations des besoins en chauffage d'un logement et compare plusieurs inerties et vitrages exposés au sud :

- sv -im : simple vitrage et inertie moyenne;
- dv- fi : double vitrage et faible inertie;
- dv- fi : double vitrage et inertie moyenne.

La réduction des besoins d'énergie grâce aux apports solaires repose donc sur le travail combiné de l'effet de l'orientation du vitrage (piège à chaleur) au sud et de l'inertie (stockage).

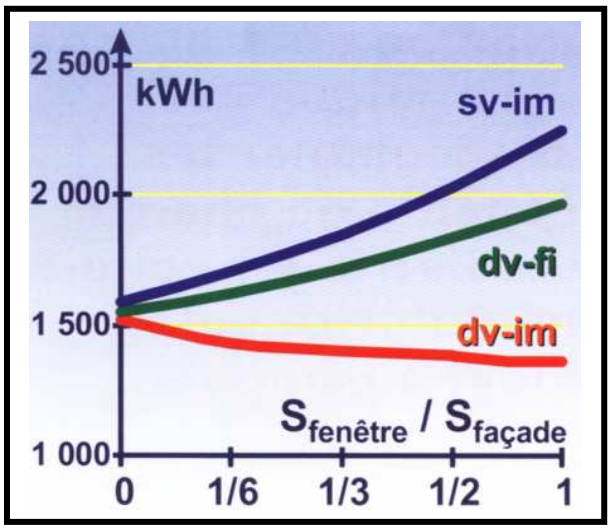


Fig-IV-18- Variation des besoins d'énergie en fonction des vitrages et de l'inertie.

(Source: Liebard, De Herde, 1996)

IV-6-2- La couleur:

Plusieurs études à travers le monde ont démontré que la couleur de l'enveloppe a un effet significatif dans la performance thermique du bâtiment, et l'utilisation de la masse peut pratiquement modifié la signature thermo- physique de celui ci. Il a été également démontré en étude expérimentale et simulation que l'utilisation d'un grand albédo de l'enveloppe peut considérablement réduire la température de l'air interne des logements, et réduit à l'échelle du micro climat la température urbaine ambiante, qui en tour résout le problème de la chaleur urbaine. [17]

IV-6-2-1* Rapport de la couleur et l'inertie thermique:

L'influence de la couleur et la masse thermique sous le climat chaud et humide a été testée à l'aide d'un équipement élaboré au département de l'architecture au « Chinese University of Hong Kong »[18]. L'équipement de test comprend deux cellules pour l'étude de l'effet de la couleur (l'une peinte en blanc: absorption 0.25, et une en noir absorption 0.80) et une grande cellule composée de quatre chambres pour l'étude de l'orientation.

Les résultats de l'étude révèlent que la température maximale de l'air à l'intérieur d'une pièce de faible masse, non ventilée et sans aucune fenêtre pourrait être supérieure de 10°C si elle est peinte en noir, que si elle est peinte en blanc.

[17] TAHA. H, AKBARI.H, ROSENFELD. A and HUANG. J, *Residential cooling loads ad the urban heat island the effect of albedo*, 1988, Building and Environment 23 (4), p 271-283.
[18] CHENG.V, NG. E and GIVONI. B, *Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate*, Solar Energy 78 (2005) p528-534.

Avec l'addition de la masse thermique (20mm contre-plaqué, 25mm isolation, et 90mm béton de densité 1980 Kg/m) et sous conditions de cellules fermées, sans fenêtres, l'effet le plus considérable de la masse thermique exprime l'oscillation diurne de température intérieure par des maxima inférieures et des minima supérieures à ceux de l'air externe. La température maximale à l'intérieur de la cellule noire était de deux 2°C au dessus de l'extérieur. Pendant que la température maximale à l'intérieur de la cellule blanche était de 3°C en dessous de l'extérieur. Pendant la nuit, les élévations de la température intérieure au-dessus de l'extérieur étaient 5 et 2 °C dans la noire et la blanche respectivement. Sous l'effet de la masse thermique, la différence de température intérieure entre les deux cellules testées a été réduite par demi. A part l'habilité de suppression de la température, l'addition de la masse thermique a aussi différé l'occurrence de la température maximale pour plusieurs heures. Comme peut être vu dans la Fig-IV-19- le maximum de la température extérieure s'est produit au environ de midi (12:30 pm); pendant que le maximum intérieur s'est produit vers la fin de l'après-midi (04:30 pm).

La Fig-IV-20- montre que les températures de l'air interne au cas de la masse thermique, étaient moins dépendantes de la radiation solaire qu'avec l'enveloppe légère. Le résultat a suggéré que l'addition de la masse thermique a réduit la sensibilité de la couleur de surface. Cependant, l'effet de la masse thermique sur la température intérieure n'était pas linéaire. La mesure de température de l'air à l'intérieur de la cellule blanche avec masse thermique doublée (deux couches de briques en béton) a révélé que l'effet de la masse thermique s'affaiblit quand il arrive à certaine épaisseur.

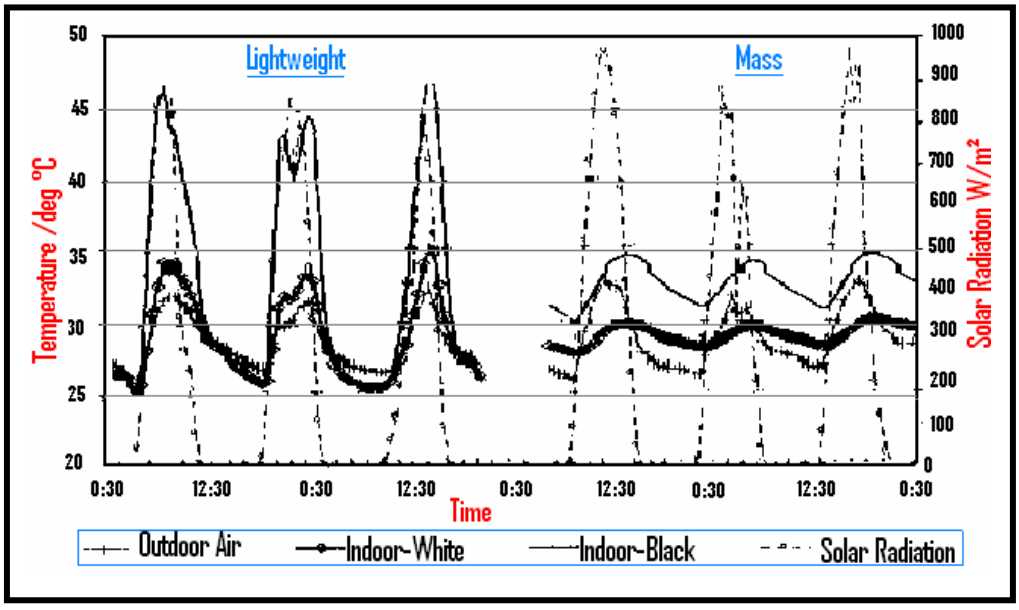


Fig-IV-19- Variation de la température à l'intérieur de la cellule fermée et sans fenêtre.

(Source: Cheng.V, NG. E et Givoni, 2005, réadapté par auteur)

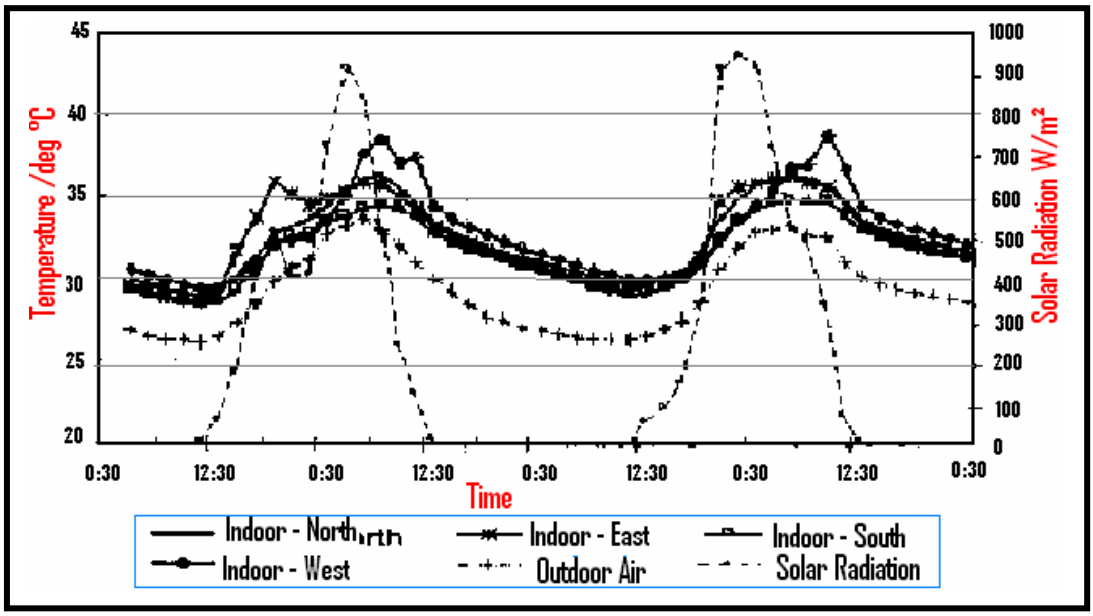


Fig-IV-20- Variation de la température intérieure sous condition de cellule de masse thermique élevée, fermée et sans fenêtre (Source:Cheng.V, NG. E et Givoni,2005 réadapté par auteur)

La Fig-IV-21-montre l'effet de la masse thermique sur les températures à l'intérieur des quatre chambres, mesurées au printemps. Les différences des caractéristiques dans les orientations ont été supprimées par l'effet de la masse thermique. La température de l'air à l'intérieur des quatre chambres était comparable, excepté, les plus hautes températures dans la chambre orientée ouest pendant les heures de la fin de l'après-midi. Les températures de l'air interne étaient plus hautes que la température de l'air externe pendant le jour et le soir.

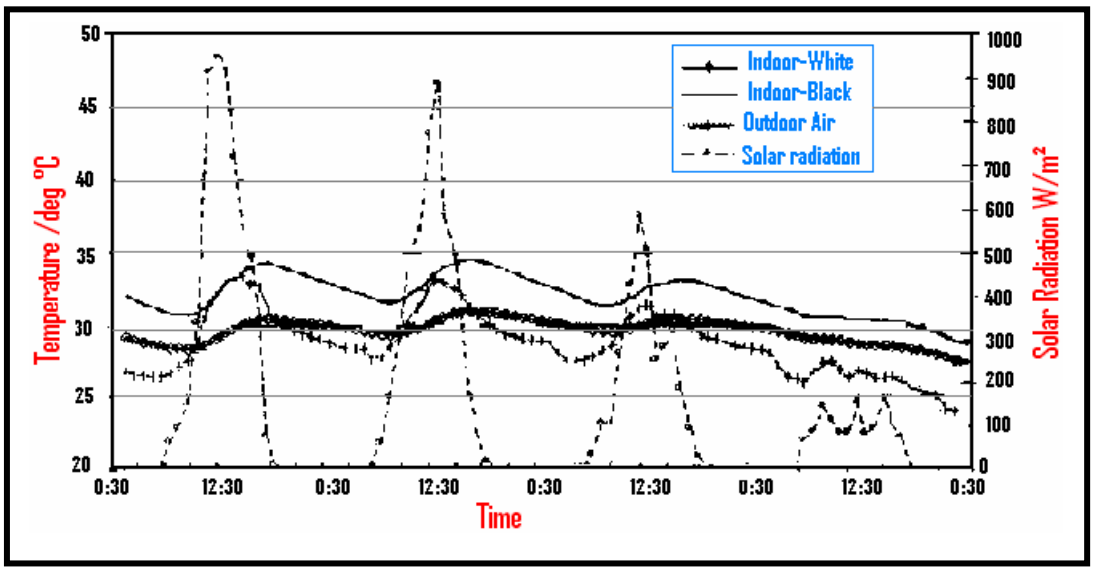


Fig-IV-21- Variation de la température intérieure en quatre orientations sous condition de cellule de masse thermique élevée, fermée et sans fenêtre

(Source: Cheng.V, NG. E et Givoni, 2005, réadapté par auteur)

Il en ressort de cette étude approfondie que l'application de couleur de surface claire est, en effet le plus simple, très efficace, et économe moyen pour réduire la température intérieure en climat chaud et humide. Aussi la haute masse thermique peut abattre dramatiquement et retarde le maximum de température pendant le jour, ce qui résultera en une réduction considérable dans le dimensionnement des systèmes de rafraîchissement.

IV-6-2-2* La couleur du toit :

Le toit constitue la paroi du bâtiment qui reçoit le plus de radiation solaire. A cet effet Kuba a investigué sur l'effet de la chaux blanche sur un toit en terre de 17cm d'épaisseur. La moitié de la surface du toit était peinte en chaux blanche et l'autre ne l'était pas. La fréquence solaire maximale à midi était de 55°C quand la température de la surface au dessus de la terre naturelle était 63°C et, sur la surface blanchie à la chaux 31°C où la température maximale de l'air était 33°C. Au plafond, la température en dessous de la surface de terre était 34°C, et en dessous la surface blanchie à la chaux 24°C. Par conséquent la peinture en chaux avait considérablement contribué à la réduction de la transmission de la chaleur à travers la structure du toit.

IV-6-2-3* L'albédo :

Associé à la couleur et les matériaux de surface, l'albédo est un paramètre influant sur la performance thermique du bâtiment. Autrement dit la réduction des températures surfaciques contribue directement à l'adoucissement des effets négatifs de l'îlot de chaleur. A travers des simulations et études de cas, il a été démontré qu'en augmentant l'albédo des surfaces urbaines et en plantant les arbres, le phénomène de l'îlot de chaleur est efficacement atténué. Une grande augmentation de l'albédo, combinée avec l'ombrage des arbres peut réduire de 40% l'usage de l'énergie pour la climatisation.[19]

Aussi le toit avec un haut albédo permet de réduire l'usage des systèmes de rafraîchissement. L'exemple des céramiques rouges et blanches utilisées dans les toitures en Brésil, étaient les seules matériaux parmi plusieurs mesurés qui avaient atteint les températures de surface inférieures au températures de l'air. Par contre les matériaux métalliques qui avaient des performances semblables aux céramiques rouges et blanches, avec des valeurs d'albédo autour de 55% ont montré de plus hautes températures de surface. Cela s'est produit à cause de la basse émissivité du métal, lequel émet de courtes radiations thermiques, et les pertes de chaleur par convection ne peuvent pas le refroidir.[20]

[19] ROSENFELD. A. H, et al, __ *Mitigation of urban heat island: materials unity programs, and updates,* Energy and Buildings 22 (1995), pp: 255-265.

[20] ARAUJO PRADO. Racine Tadeu , FERREIRA. Fabiana Lourenço, __ *Measurement of albedo and analysis of its influence the surface temperature of building roof materials,* __ Energy and Buildings 37 (2005)p295-300

IV-6-3- Le rapport de forme : volume/surface :

Selon Abdou. S « *le rapport de forme est un indicateur important de la vitesse d'échauffement ou de refroidissement du bâtiment durant le jour ou la nuit…il est important que le rapport du volume construit à la surface d'enveloppe soit le plus élevé possible ainsi les surfaces exposées seront réduites au maximum* » Fig-IV-22-.

Olgay, 1963, suggère qu'une forme compacte et rectangulaire ayant un rapport forme/ surface de 1/1.3 est idéale pour les climats chauds et secs. Turan et al, 1981 affirment qu'un rapport de 1/2 présente une meilleure performance surtout dans les climats semi arides

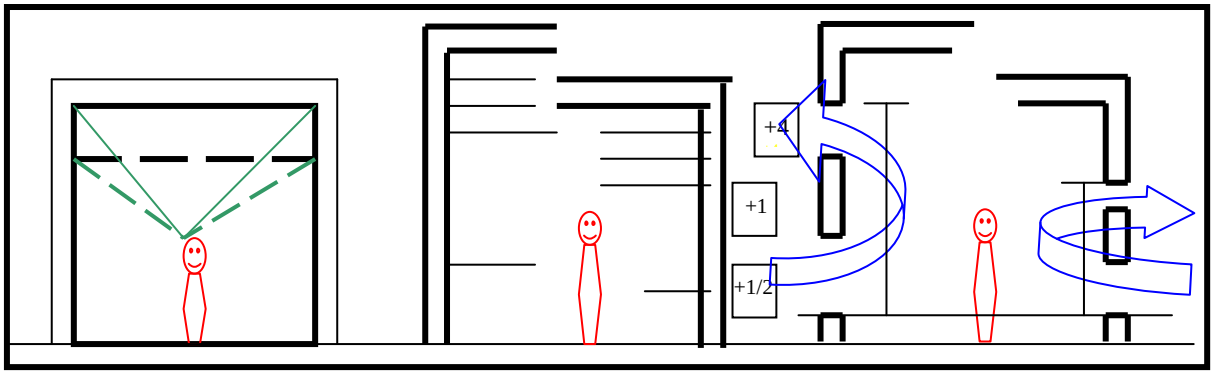


Fig-IV-22- Rapport de forme: volume/ surface (Source : Abdou, 2004, et réadapté par auteur)

IV-6-4- Les surfaces vitrées :

En plus de ce qui a été présenté au chapitre -III- sur la sélection du vitrage pour la performance thermique du bâtiment à la fois en hiver et en été, J.L.Izard, 1993 suggère que le vitrage idéal serait celui qui présenterait un facteur de transmission énergétique en allant en diminuant, lorsque l'énergie solaire incidente augmente Fig-IV-23- (Voir annexe -III-).

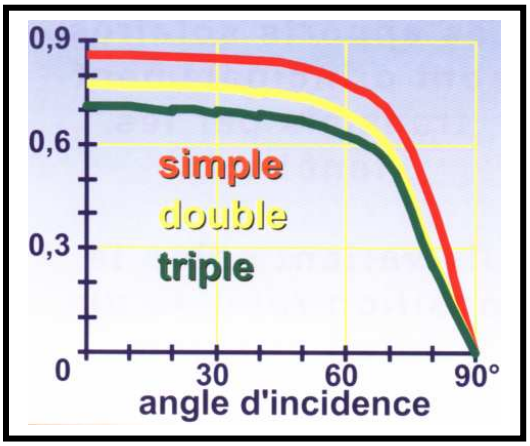


Fig-IV-23- Variation du facteur solaire en fonction de l'angle d'incidence du rayonnement solaire (Source: Liebard, De Herde, 1996)

Si on veut profiter des apports solaires en hiver, la forte inertie doit impérativement être associé à un surdimensionnement du vitrage. Selon l'A.F.M.E à 1m² de vitrage ensoleillé doit correspondre au moins à 3m² de surface primaire (soumise au rayonnement solaire direct) et de 8 à 10m² de surface lourde secondaire (sollicitée principalement par convection comme le plancher)[21].

Aussi, pour réduire les déperditions, le vitrage double permet une réduction de 40% par rapport au vitrage simple[22].

A rappeler que les apports solaires à travers une baie sont en fonction de l'exposition, de la surface de la baie et de son facteur solaire. Le supplément de la température dû à ces apports est en fonction de l'inertie de la construction, et le supplément admissible est en fonction également de cette inertie ainsi que de la zone climatique.

En été c'est plutôt l'occultation des surfaces vitrées qui assurent la performance thermique du bâtiment.

IV-6-4-1* Systèmes de contrôle solaire :

A. Douri en 1976 à travers ses recherches a trouvé que la température de surface interne des parois reste très élevée par rappport à la température interne de l'air lorsque ces parois n'étaient pas protégées contre la rdaiation solaire. Il a démontré que l'ombrage contre la radiation solaire est essentiel contre la diminution de la température de surface interne.

Szocolay, 1979, donne plusieurs possibilités d'occultations fixes, avec leurs géométries solaires spécifiques Fig-IV-24-. [23]

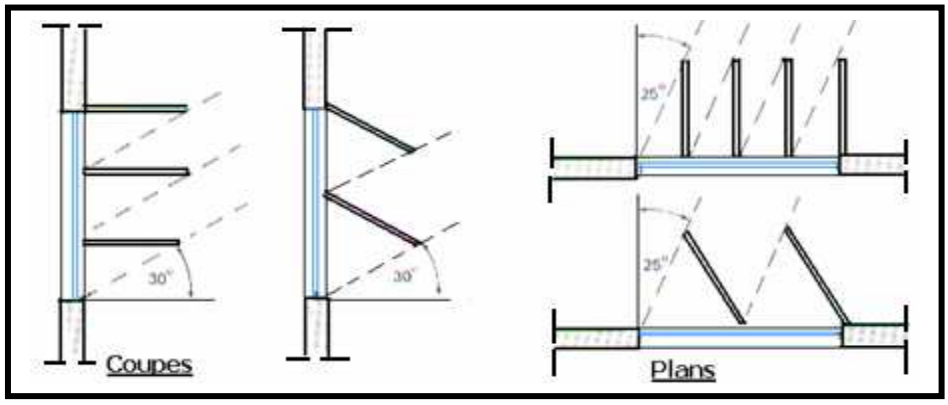


Fig-IV-24- Les différentes possibilités d'occultation (Source:S.Szocolay, 1979, réadapté par auteur)

[21] A.F. M.E « Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie », __ *Conception thermique de l'habitat guide pour la région Provence-Alpes-Côte d'Azu*r Edition EDISUD, __ Décembre 1988, p35.
[22] GALLAUZIAUX . Thierry et FEDULLO. David, __ *Le chauffage électrique et l'isolation thermique* comme un pro!, __ Paris: EDITION EYROLLES 2000, p 39.
[23] SZOKOLAY. S V, __ *Environmental science handbook for architects and builders*, __ LONDON, NEW YORK , LACASTRE: THE CONSTRUCTION PRESS, 1979, p318-323.

Aussi Givoni, 1981 insiste sur l'utlisation des éléments de façade qui constituent selon lui le moyen le plus efficace pour intersepter la radiation solaire avant qu'elle n'atteigne la surface de la paroi.

Quant à A.Z. Ayssa en 1993 à travers son analyse sur la performance de la fenêtre et de sa protection solaire, a trouvé une réduction de 45% des charges de refroidissement. Il a ainsi prouvé l'impact positif des protections solaires sur l'ambiance intérieure. En plus dans son étude il a fait apparaître l'effet de la masse sur la performance thermique, montrant une stabilité de l'air interne en comparaison aux grandes fluctuations de la température extérieures entre 6.00h et 15.00h.

IV-6-4-1*a- L'occultation avec la végétation :

On a toujours utilisé la végétation pour protéger les bâtiments. Les arbres à feuilles caduques sont les systèmes d'occultation les plus adaptés, on offrant l'ombre maximale pendant l'été et en se dépouillant de leur feuilles lorsque l'on a besoin de l'ensoleillement pendant les mois froids d'hiver. La végétation est aussi extrêmement efficace pour protéger les fenêtres pour des hauteurs de soleil très basses. Par exemple une rangée d'arbustes serrés, plantés à distance d'une fenêtre ouest, non seulement offre une vue agréable, mais contrôle aussi les charges thermiques de fin d'après midi. La Fig-IV-25 donne la répartition possible de différentes plantes autour de l'habitat (Voir annexe -III-).

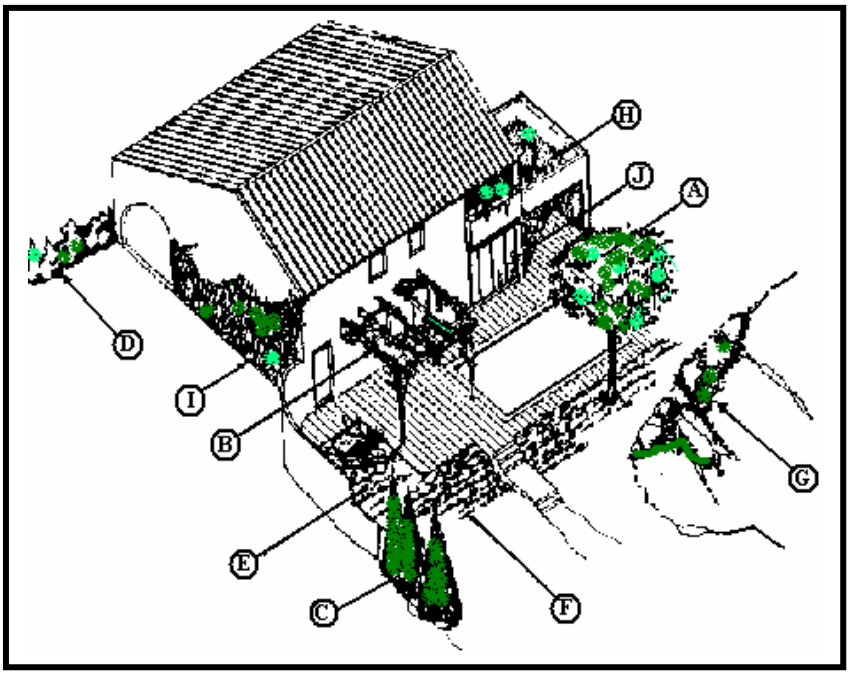


Fig-IV-25- Répartition possible de diverses plantes autour de l'habitat

(Source: A.F.M.E, 1988, et réadapté par auteur)

-Auvent végétal:

Selon le Groupe A.B.C, 1999, les angles requis restent les mêmes, mais il est plus facile d'obtenir des grandes profondeurs avec des végétaux grimpants sur des treilles ou des pergolas. Le problème qui reste en suspens est celui de l'éclairement naturel des locaux, qui peut être fortement réduit par l'ombrage du végétal si celui-ci est dense Fig -IV-26-.

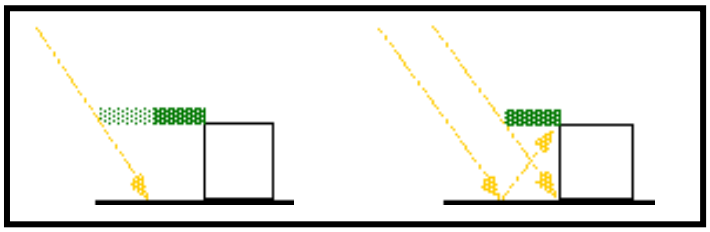


Fig-IV-26- Auvents végétaux (Source: Groupe A. B. C, 1999)

-Arbres faisant face à la paroi:

Comme dans l'orientation sud, la forme tridimensionnelle du feuillage des arbres permet en général d'ombrer pas uniquement la paroi elle-même, mais aussi le sol au pied de la paroi Fig -IV-27-.

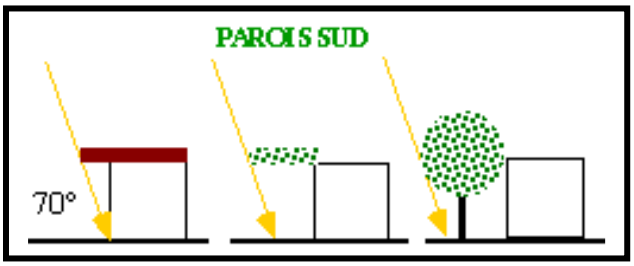


Fig-IV-27- Protection des arbres (Source: Groupe A. B. C, 1999)

Une investigation sur ce sujet, menée sur deux maisons au Sacramento en Californie pour évaluer la conservation d'énergie due au rafraîchissement substantiel, en les ombrageant avec seize arbres. Les données rassemblées incluent l'usage de l'électricité pour la climatisation, les températures sèches intérieures et extérieures, les humidités, les températures de surface du toit et du plafond, les températures surfaciques intérieures et extérieures du mur, l'insolation, la vitesse et la direction du vent. L'ombre des arbres sur les deux maisons mesurées a cédé un refroidissement saisonnier d'une économie d'énergie de 30%, correspondant à une économie quotidienne moyenne de 3.6 et 4.8 KWh/d. Les économies de la demande maximum pour les mêmes maisons étaient de 0.6 et 0.8KW (27% d'économies dans une maison et 42% dans l'autre). L'ombre des arbres a aussi dramatiquement réduit les deux températures de surface extérieures et la vitesse du vent. [24]

[24] HASHEM, Akbari et al, __ *Peak power and cooling energy savings of shade trees*, __ Energy and Buildings, vol. 25, (1997), pp: 139-148.

IV-7- Les caractéristiques de la masse thermique:

Concernant les caractéristiques de la masse idéale pour une meilleure performance thermique du bâtiment, plusieurs investigations et recherches ont été menées sur le sujet.

IV-7-1- Caractéristiques du mur externe:

Kuba vient à la conclusion que pour un contrôle naturel de l'environnement intérieur, la construction théoriquement idéale du mur externe, impliquerait la double paroi. Dans lequel la paroi externe aurait une basse absorptivité pour les gains solaires et la radiation de grande longueur d'onde, une haute résistance contre le flux de chaleur interne et une faible capacité de stockage de chaleur. La paroi du coté interne aurait une capacité de refroidissement rapide et une grande capacité de stockage de chaleur. Tandis que la paroi du coté externe pourrait être composée de briques de cavité légère, constituant un lit de poids lourd Fig-IV-28-.

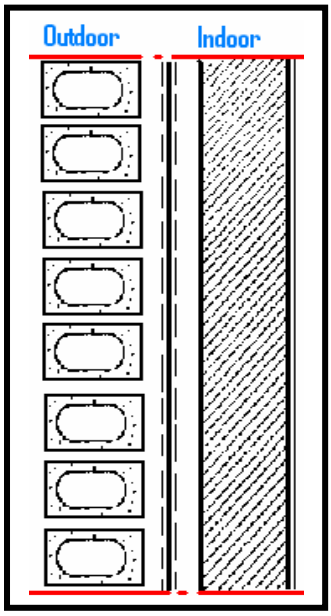


Fig-IV-28- Conception idéale du mur extérieur proposé par Kuba

(M. Danby, 1973, et réadapté par auteur)

Pour réduire la chaleur qui passe dans la paroi froide intérieure, l'échange de chaleur par radiation de grande longueur d'onde et par convection entre la limite de la surface de la cavité devrait être prévenu par une membrane d'aluminium, couverte d'une feuille de bitume. La cavité devrait être scellée pour empêcher la formation des dépôts de poussière sur l'aluminium. Il a suggéré aussi que la surface externe du mur devrait avoir une faible absorptivité et devrait être peinte en blanc, parce qu'il a été trouvé que l'addition de plusieurs couches de chaux blanche au bâtiment expérimental donne durant la journée des températures de surface inférieures à la température de l'air sous l'ombre.

IV-7-1-1* Le choix des matériaux pour le mur externe :

Pour le choix du matériau idéal qui pourrait constitué le mur externe, multiples études expérimentales ont été menées pour trouver les meilleures qualités thermiques.

En Egypte l'étude de Awadhi et Sayigh,1990 a démontré la haute qualité thermique d'une paroi épaisse de 50cm de brique de terre comparée à une paroi de 10cm en béton. Les fluctuations de la température de l'air dans l'enveloppe en brique de terre restent dans la zone de confort, alors que les variation de celle-ci dans l'enveloppe en béton sont en dehors des limites de confort durant la période de mesures. [25]

En Grande Bretagne, les « murs durables » de briques creuses en argile sont actuellement utilisés. Constitués d'un mélange de papier, de la paille ou isolation en laine, ces murs présentent une conductivité thermique moins de 0.35 w/m² K, ce qui est conforme aux exigences de la règlementation thermique du pays. Une révision de méthodes possibles pour ces murs de terre en y ajoutant des morceaux de bois étanche, encore démontre l'acquiescement possible avec la règlementation thermique courante.[26]

Comme les demandes sur la réduction de la consommation d'énergie de bâtiments sont devenues plus strictes même pour les bâtiments résidentiels, partout en Europe et surtout en l'Allemagne, l'Autriche et la Suisse, les fabricants de briques d'argile perforées essaient d'adapter leurs produits aux nouveaux règlements en optimisant le modèle de la perforation en choisissant plus de 30 lignes de minces trous d'air (dans la direction du flux de chaleur) et en utilisant l'argile poreuse comme matière de base. Le modèle de perforation de trois unités modernes de maçonnerie poreuses en argile est illustré dans Fig-IV-29- (a)-(b)-(c). La porosité en argile est induite en mélangeant le polystyrène ou la sciure du bois au mélange fondamental qui après avoir passé la lame de perforation est cuit sous températures élevées, résultant en petits pores d'air. [27]

[25] AWADHI et SAYIGH, 1990, In « *Investigation sur l'intégration climatique dans l'habitation traditionnelle en régions arides et semi arides d'Algérie: Cas du Ksar de Ouargla et de la médina de Constantine* », ABDOU. S, 2004.
[26] GOODHEW, Steven, GRIFFITHS, Richard, *Sustainable earth wall to meet the building regulations,* Energy and Building 37 (2005), pp:451-459.
[27] WAKILI. K. Ghazi , TANNER. Ch, *U-value of a dried wall made of perforated porous clay bricks Hot box measurement versus numerical analysis,* Energy and Buildings 35 (2003), pp: 675–680.

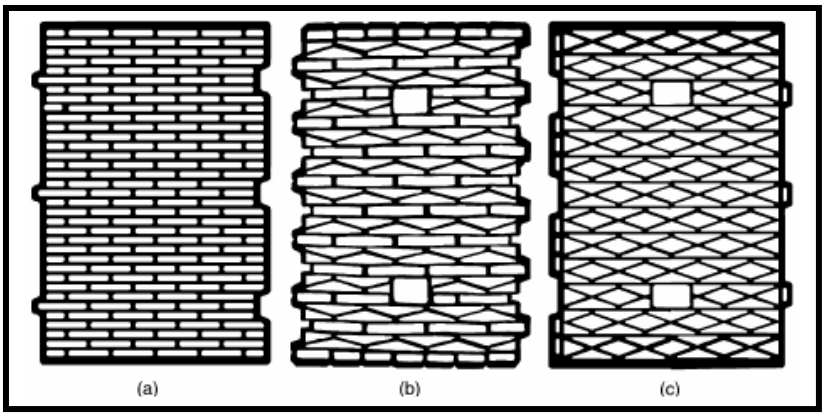


Fig-IV-29- Exemples d'unités de maçonnerie modernes perforées fait d'argile poreuse. Leurs dimensions courantes sont: la hauteur × la longueur × la largeur 365 ×240 ×240 mm.

(Source: Wakili et Tanner, 2003)

En Turquie, concernant les caractéristiques thermiques de la brique du mur, une étude, supportée par le « State Planning Organization » à l'intention de l'amélioration de son isolation en y ajoutant des coquilles de la noisette à son mortier. Pour ce but, les spécimens de la brique qui consistent en pierre ponce, sable, ciment et plusieurs proportions de coquille de la noisette ont été préparés et la conductivité thermique des spécimens a été mesurée conjointement avec les paramètres tel que température, humidité, etc. Les résultats obtenus montrent que la conductivité thermique des spécimens diminue avec la proportion croissante d'addition de coquilles de la noisette sous toutes les circonstances. Les résultats de cette étude donnent des idées utiles pour les politiques de la conservation d'énergie des pays en voie de développement qui ont un manque de sources d'énergie. Bien que les résultats ne concernent que les coquilles de la noisette, beaucoup d'autres types de coquilles tel que la coquille de la noix, de la pistache peuvent aussi être utilisées dans le mortier de brique comme un additif pour réduire la conductivité thermique.[28]

Aussi dans la région du Golfe, l'usage lourd du pouvoir électrique est devenu essentiel pour les buts de rafraîchissement à l'intérieur des bâtiments où les températures extérieures en été peuvent atteindre les 60.8°C. L'usage des matériaux modernes en plus qu'ils sont chers, exige un labour habile. Les recherches se sont donc accentuées sur le développement des blocs de béton léger pour une meilleure isolation thermique, en utilisant des arrangements de cavités différents Fig-IV-30-.[29]

[28] CUHADAROGLU. B, __ *Thermal conductivity analysis of a briquette with additive hazelnut shells,* Building and Environment 8 (2004), pp: 1-7.

[29] AL-JABRI. K.S and al, __ *Concrete blocks for thermal insulation in hot climate,* __ Cement and Concrete Research (2004) .

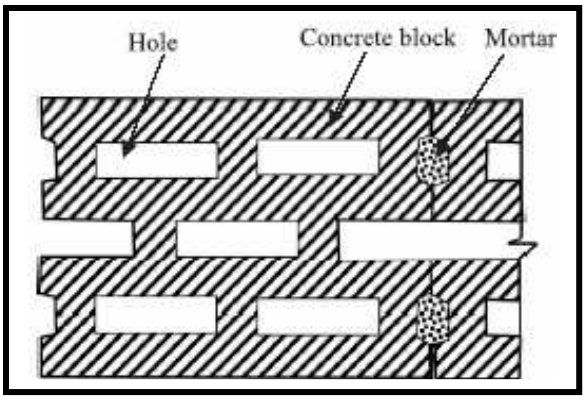


Fig-IV-30- Exemple de bloc de béton léger (Source: Al-Jabri, 2004)

Au Japon pour résoudre les problèmes d'isolation thermique pauvre et les propriétés de la conservation de la chaleur qui existent dans les murs fait de blocs creux en béton, un nouveau type de blocs creux composés en béton de petite dimension a été développé. Comme montré dans les épreuves et les calculs, les blocs composés améliorent l'effet de l'isolation thermique, propriétés de la conservation de la chaleur, imperméabilité des murs et offrent aussi de bons résultats décoratifs.[30]

D'autre part, des études montrent que la conductivité thermique de toute pierre peut être calculée au laboratoire en déterminant aisément la vitesse de l'onde thermique. La conductivité thermique évaluée de 0.75, 1.37 et 2.49 W / (m K) est obtenu en insérant des vitesses d'ondes de 4000, 5000 et 6000 m/s. La porosité est un paramètre déterminatif de l'isolation thermique de matériaux de faible conductivité thermique. Donc l'utilisation de pierres naturelles avec une conductivité thermique faible améliore l'isolation des bâtiments en fournissant une solution effective d'énergie. Ce qui réduira à la fois la demande en énergie et la consommation des combustibles fossiles, ainsi que les produits polluants associés.[31]

A savoir, l'écoulement de l'air dans le vide réduira la conductivité thermique effective du matériau. De l'autre côté, la présence d'eau dans les pores augmentera la conductivité thermique effective. La structure interne d'une pierre qui a des pores ouverts et fermés dans sa texture affecte son transfert de chaleur. Le transfert de chaleur à l'intérieur d'une telle pierre peut avoir plusieurs modes de transfert de chaleur, tel que la conduction à travers les matières solides; conduction ou convection à travers l'air dans les espaces vides; et, si la température est suffisamment haute, échange de la radiation entre les surfaces solides.

[30] DINGYI, Yang and al, *Research on improving the heat insulation and preservation properties of small-size concrete hollow blocks*, Cement and Concrete Research 33 (2003) 1357–1361
[31] OZKAHRAMANA. H.T, SELVERB. R, I-SÝK. E.C, *Determination of the thermal conductivity of rock from P-wave velocity*, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 41 (2004), pp 703–708

IV-7-2- Caractéristiques des cloisons internes :

Shaviv résume les résultats de sa simulation en climat méditerranéen sur une construction, en changeant l'emplacement, l'épaisseur de la masse thermique et les conditions de l'occupation de l'espace interne. Il affirme que le transfert de chaleur peut se compléter à travers des cloisons de10cm d'épaisseur, et que le nombre supplémentaire des cloisons internes améliore dramatiquement la consommation d'énergie du bâtiment pendant l'été. Il rajoute que ce n'est pas assez d'ajouter juste une masse thermique au bâtiment. La masse thermique supplémentaire devrait avoir une surface d'échange suffisante, capable d'échanger de l'énergie avec l'air interne[32].

IV-7-3- La façade double peau :

Récemment, l'enveloppe du bâtiment est constituée d'une doublure ou façade double-peau. Cette dernière obtient de plus en plus d'attention puisqu'elle fournit beaucoup de possibilités pour la conservation d'énergie, et en même temps crée un environnement intérieur agréable. Dans le but d'évaluer la performance de la ventilation naturelle dans les bâtiments en façade double- peau, un prototype a été expérimenté. Le bâtiment proposé en huit étages de bureaux avec un atrium au côté nord. Sa façade sud double – peau est dotée par le dessus d'un espace de rangement thermique appelé « cheminée solaire ». L'espace double- peau est connecté avec le canal de cette cheminée pour ventiler le bâtiment. Ce modèle expérimenté réduit considérablement le recours à la climatisation permettant à la façade double- peau de présenter une meilleure performance thermique en climat chaud et humide comme celui de Tokyo. [33]

IV-8- L'inertie et l'isolation thermique :

Pour la qualité du confort il est important de prendre en considération l'aspect «inertie thermique» de la construction dans le choix et l'emplacement de l'isolant. Selon la A.N.A.H l'isolation par l'extérieur entraîne une forte inertie puisque la température intérieure évolue très lentement. Or l'isolation par l'intérieur fait baisser l'inertie.[34] Cette interaction entre l'isolation et l'inertie a attiré l'attention d'un grand nombre de chercheurs à travers le monde pour arriver à l'emplacement et l'épaisseur types de l'isolant sans affecter la performance de l'inertie thermique. On expose dans se qui suit quelques résultats de leurs recherches.

---

[32] SHAVIV. Edna, __ *On the determination of the optimum thermal mass in the Mediterranean climate*, Energy and Building, __ PLEA 1984, pp: 385-390.
[33] DING. Wenting, HASEMI Yuji, Yamada Tokiyoshi, __ *Natural ventilation performance of a double – skin façade with a solar chimney*, __ Energy and Buildings, 37 (2005), pp: 411-418.
[34] ANAH Agence Nationale pour l'Amélioration de l'Habitat, __ *Réhabiliter et entretenir un immeuble ancien point par point*. Paris: Edition Le Moniteur, 1995, p 121.

Pour S.V Szokolay, 1980, la masse thermique du coté interne de l'enveloppe et l'isolation de son coté externe donne de bonnes performances thermiques en climat chaud et aride. Puisque la masse thermique possède l'habilité d'emmagasiner la chaleur et l'isolation possède l'habilité de ralentir son transfert à l'intérieur. Les deux dispositifs permettent l'atténuation de l'amplitude d'oscillation de la température interne durant le cycle journalier. La température maximale et le pic des charges énergétiques de chauffage ou de climatisation sont bien réduits. Autres bénéfices comme: la réduction de la consommation d'énergie, la réduction de la taille des équipements de chauffage ou de climatisation, l'uniformité de la température de l'air et les températures de surfaces internes et enfin la moyenne de la température radiante et la température de l'air deviennent identiques.[35]

I.A Al Mofeez, 1993 rajoute que l'application de l'isolation du coté externe de l'enveloppe permet l'augmentation du temps de déphasage. Son étude comparative est menée sur trois chambres à Elhasa en Arabie Saoudite, en changeant l'emplacement de l'isolation (une sans isolation, une deuxième avec isolation du coté externe du mur et de la toiture et une dernière avec isolation appliquée du coté interne du mur et de la toiture).

Lorsque la ventilation est assurée de 22h à 7h du matin la fluctuation de la moyenne journalière de la température radiante (MRT) est minimisée et le confort thermique est éprouvé. Son analyse statique montre que l'application de l'isolation thermique du coté externe avec l'assurance de la ventilation nocturne, permet une faible et très stable température moyenne radiante (MRT) Fig-IV-31-.

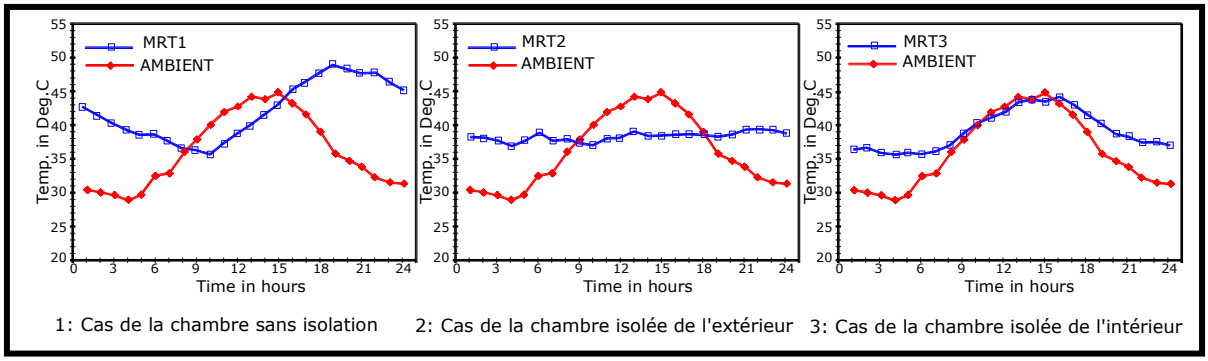


Fig-IV-31- Profile des températures avec ventilation de 1.7 v/h

(Source: Al- Mofeez, 1993, réadapté par auteur)

Selon Al. Mofeez, durant la nuit, la plus faible MRT est atteinte dans le cas de l'isolation intérieure et la ventilation nocturne. Tandis que le jour, la plus faible MRT avec sa plus réduite oscillation est atteinte dans le cas de l'isolation extérieure. Pendant cette

[35] SZOKOLAY.S.V, _ *Environemental science handbook for architects and builders*, _ New York:Jhon Willey & Sons 1980.

période, l'isolation de l'intérieur donne des (MRT) les plus élevées des trois chambres testées. [36]

Aussi en climat humide comme celui de Victoria en Australie, l'étude expérimentale montre que l'application de l'isolation sur la face externe de l'enveloppe donne une faible oscillation de la température surfacique intérieure avec de faible variation de la température sèche de l'air interne.[37]

IV-8-1- Epaisseur de l'isolation :

Iben Salah, 1989 insiste, qu'en climat chaud et aride, la masse des composants du bâtiment et l'emplacement d'isolation dans les murs et toitures procurent un effet considérable sur la performance thermique totale du bâtiment. En terme des charges globales de chauffage et de climatisation, selon Iben Salah, l'isolation thermique de 5-10 cm d'épaisseur localisée à l'extérieur de la masse du bâtiment donne les meilleurs résultats. En plus les isolants thermiques du côté externe de l'enveloppe, éliminent les ponts thermiques. Par ailleurs, pour vaincre l'effet négatif qui se produit pendant l'hiver, quand les isolants thermiques sont localisés du côté externe de l'enveloppe, la radiation solaire directe devrait être considérée reçu à travers le vitrage, et stockée dans la masse du bâtiment. Par conséquent la charge de chauffage peut être réduite. Mais dans le cas de l'utilisation d'un système de climatisation dans un bâtiment isolé thermiquement du côté interne de sa masse, le niveau standard du confort thermique sera plus vite atteint qu' avec l'isolation thermique du côté externe de la masse.

Aussi les résultats de simulation comme celle de Nezzar et Gourdache en région aride d'Algérie, montrent que la température intérieure reste peu sensible à partir d'une épaisseur d'isolation de 5 cm [38] Fig-IV-32-.

[36] AL-MOFEEZ. A. Ibraheem, __ *Field test results of interior VS exterior insulation of thermal mass in extremely hot-arid climates*,__Raport d'étude, __ Saudi Arabia King Faisal University Department of Architecture, 1993.
[37] AXFORD.S.J, 1983, __ In *"Field test results of interior VS exterior insulation of thermal mass in extremely hot-arid climates"*.
[38] NEZZAR. Salah et GOURDACHE Mounir, __ *Etude des performances énergétiques d'une conception bioclimatique en région aride* Laboratoire des énergies renouvelables Institut de Génie Mécanique Copyright © 1999-2004. World Energy Council 5th Floor, Regency House, 1-4 Warwick Street, London W1B 5LT, UK.

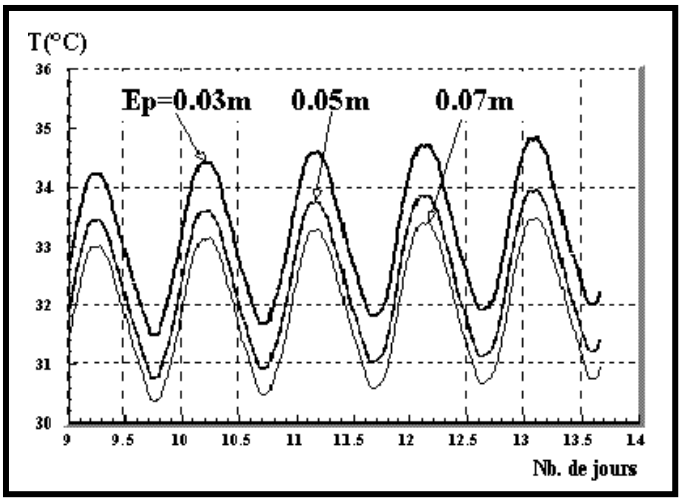


Fig-IV-32- Optimisation de l'épaisseur de l'isolant (Source: Nezzar et Gourdache, 2004)

Dans une autre étude, les effets de la position et l'épaisseur de l'isolation du mur sur le temps de déphasage et le facteur d'amortissement ont été numériquement investigués. L'épaisseur totale du mur (isolation + masse thermique = 20cm) est retenue constante à l'intérieur, et chaque fois que l'épaisseur de l'isolation est augmentée, l'épaisseur de la masse thermique est diminuée en même valeur. Quatre emplacements différents de l'isolation dans le mur, sont testés. Dans la surface interne, la surface externe, le centre et la moitié de l'isolation dans la surface interne et l'autre moitié dans la surface externe de la masse thermique. On a trouvé que l'épaisseur de l'isolation et son emplacement ont un effet très profond sur le temps de déphasage et sur le facteur d'amortissement. Le calcul a été répété pour trois matériaux isolants à savoir, la mousse polyuréthane, les panneaux de liège et le caoutchouc et pour deux masses thermiques différentes à savoir la brique et le bois.[39]

IV-8-2- L'isolation et l'économie d'énergie :

L'isolation associée à l'inertie thermique dans le bâtiment entraîne des réductions considérables des charges de chauffage et de climatisation. Des études de simulation exécutées sur un bloc de logements sociaux pour 12 ensembles différents d'enveloppes et cloisons, dans le but de trouver comment les changements dans la structure affecteraient la charge de rafraîchissement annuelle et la demande maximale de rafraîchissement du bâtiment sous les conditions climatiques de Hong-Kong. Les résultats montrent que l'addition de l'isolation à l'enveloppe et les partitions serait efficace dans la réduction des charges de rafraîchissement annuelles de l'espace, jusqu'à 38%, mais non plus pourrait

[39] ASAN. H, __ *Effects of wall's insulation thickness and position on time lag and decrement factor*, __ Energy and Buildings 28 (1998), pp: 299-305.

augmenter (jusqu'à 19%) ou réduire (jusqu'à 16%) la demande maximale du rafraîchissement selon le nombre et l'emplacement des couches de l'isolation dans les murs. Réduire la capacité thermique de l'enveloppe et cloisons intérieures (en réduisant leur épaisseur) mènerait aux grandes augmentations dans la demande maximale du rafraîchissement avec plus de 60% dans le cas extrême.[40]

Il a aussi été démontré que, pour le fonctionnement intermittent du chauffage par opposition au fonctionnement intermittent de la climatisation, la structure: isolation / maçonnerie / isolation économise de 32 à 72% plus d'énergie comparée avec la structure: maçonnerie / isolation / maçonnerie.[41]

IV-8-3- L'effet des ponts thermiques :

Les ponts thermiques constituent les points faibles de l'enveloppe du bâtiment, par lesquels transite plus de chaleur que par les éléments adjacents. Alternance de matériaux, modification de la structure, pénétration, contact entre deux éléments provoquent souvent des ponts thermiques. Ils conduisent à des pertes de chaleur plus élevées et à des risques du point de vue de la physique du bâtiment comme de l'hygiène.

Il est possible de les éviter dés la phase amont du projet en utilisant les programmes de simulation. La Fig-IV-33- ci-dessus reproduit une sortie écran d'un programme statique (Kobru 86) étudiant la répartition des températures dans un détail constructif (raccord mur/ toiture). A partir de la géométrie du détail et des conditions de température intérieure et extérieure, une matrice de calcul détermine point par point les températures dans la paroi.

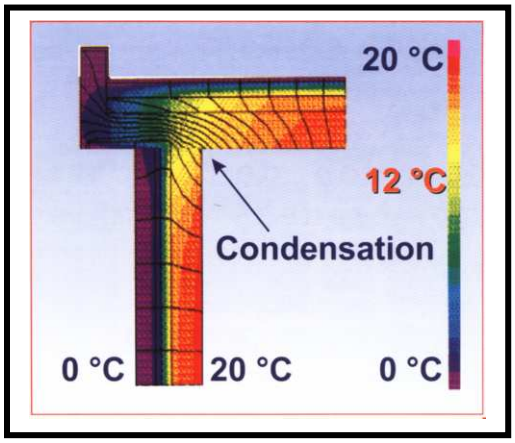


Fig-IV-33- Calcul des ponts thermique (programme Kobru 86) (Source: Liebard, De Herde, 1996)

[40] BOJIE. Milorad, YIK Francis, __ *Cooling energy evaluation for high- rise residential buildings in Hong Kong* Energy and Buildings 37 (2005), pp: 345-351.
[41] BOJIC. M.L, LOVEDAY . D.L, __ *The influence on building thermal behaviour of the insulation / masonry distribution in a three - layered construction*, __ Energy and Buildings 26 (1997), pp: 153-157.

L'endroit exact des points faibles dans les anciennes constructions peut être aussi localisé grâce à des techniques très développées. Il s'agit de «la thermographie à infrarouge» qui permet de visualiser en temps réel les températures de surface de l'enveloppe.

La Fig-IV-34- représente l'application de la technique de la thermographie à infrarouge à l'échelle d'un programme national de rénovation de logements collectifs. Le pignon de l'immeuble de la photo à gauche illustre une dégradation importante de l'isolant due à la mauvaise réalisation des joints et à la mauvaise qualité des matériaux. Dans la photo à droite, l'image infrarouge montre des températures de surface (bleu à bleu sombre) nettement inférieures à celles de balcons non vitrés pour lesquels les déperditions sont plus élevées. [42]

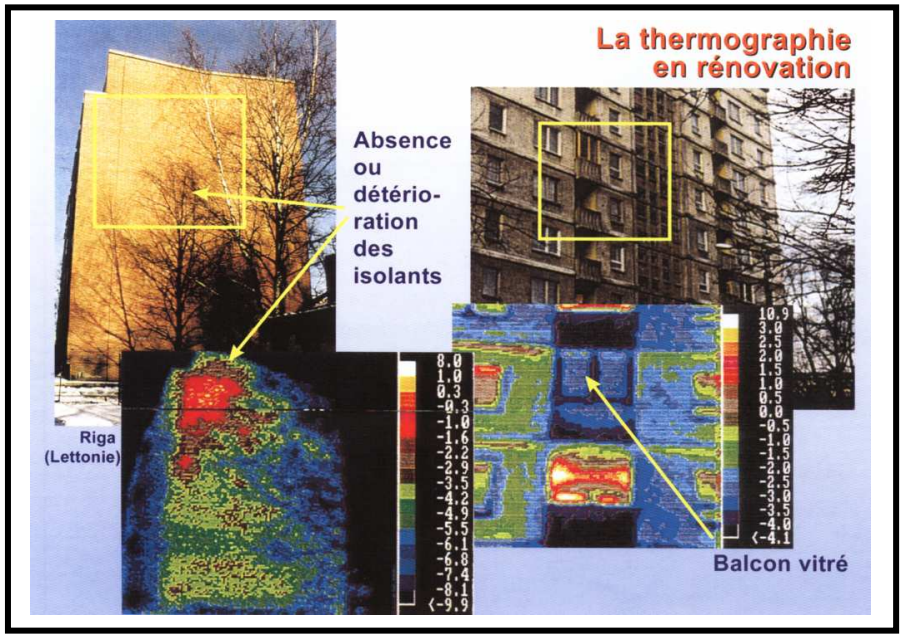


Fig-IV-34- La thermographie à infrarouge en bâtiment (Source: Liebard, De Herde, 1996)

IV-8-4- Le choix des matériaux isolants:

Pour le meilleur choix des matériaux isolants, Jean-Pierre Oliva dans son livre récemment édité sous forme de guide pratique apporte un éclairage sur le choix technique de ces derniers. Il expose en détail les caractéristiques hygrothermiques de chaque isolant, et donne même leur impact sur l'environnement et sur la santé de l'être humain. [43]

[42] LIEBARD. Alain et DE HERDE. André, _ *Guide de l'architecture bioclimatique Cours fondamental. Tome 2 : Construire avec le climat,* __ Paris : Edition LEARNT, Novembre1996, p82.
[43] OLIVA. Jean Pierre, _ *L'isolation écologique: conception, matériaux, mise en œuvre* Mens, France : Edition TERRE VIVANTE, 2005.

Deux types de matériaux isolants sont plus utilisés actuellement dans le monde et particulièrement en Europe. Il s'agit des isolants fibreux organiques et les isolants écumants organiques. L'accentuation supplémentaire sur le développement des ces isolants est la limitation d'émissions de poussière et fibres pour les premiers et pour les seconds et en particulier pour le polystyrène expulsé, l'accentuation est donnée aux combustibles utilisés. Une réduction du coût possible est un point majeur de rendre ces matériaux plus compétitifs. Papadopoulos affirme que les matériaux d'isolation doivent améliorer leur performance, mais ils doivent être aussi adaptatifs, saints et non coûteux. Les défis mises pour les années futures sont certainement intéressants et ils demandent une coopération plus effective de la communauté de la recherche, l'industrie et les autorités législatives.[44]

La Fig-IV-35- donne une comparaison graphique des résistances thermiques de 5cm d'épaisseur pour les matériaux isolants communs du bâtiment. Le bloc de béton n'est pas considéré comme un matériau isolant, mais il a été inclus dans les chiffres comme une référence, seulement pour des buts de comparaison.[45]

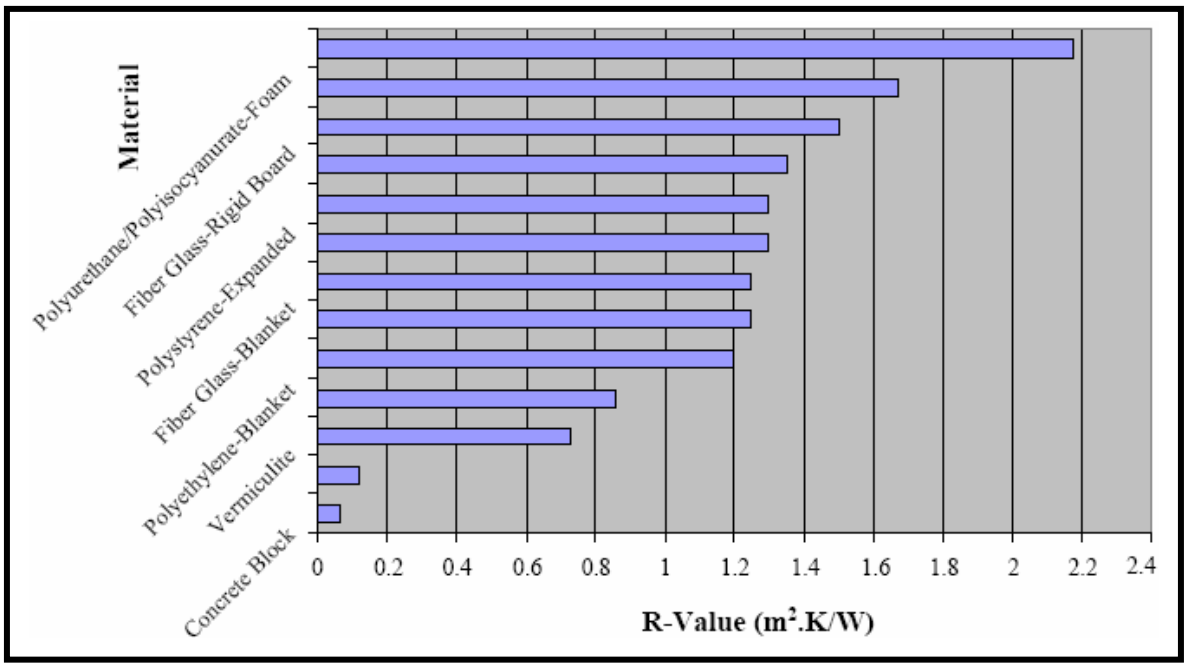


Fig-IV-35- La résistance thermique (par 5cm d'épaisseur) des matériaux isolants

(Source: Dr. Mohammad S. Al-Homoud, 2005)

[44] PAPADOPOULOS A.M, __ *State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments*, __ Energy and Buildings 37(2005), pp: 255-265.
[45] Dr. AL-HOMOUD. Mohammad. S, __ *Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials*, ___ Building and Environment 40 (2005) pp: 353–366.

Conclusion :

Les résultats de recherches exposés dans ce chapitre, montrent tous l'efficacité de l'inertie thermique sous différents climats, chaud et sec, chaud et humide, froid… etc, dans la création du confort thermique et la réduction de la consommation énergétique. L'inertie thermique est un essentiel recommandé dans la conception des bâtiments.

En été l'inertie de l'enveloppe assure d'une part l'atténuation des températures extérieures en évitant les surchauffes. D'autre part elle déphase dans le temps la pénétration de l'onde thermique. La restitution de la chaleur absorbée de la journée aura lieu la nuit, en remède à cela, la ventilation nocturne permet d'évacuer tout supplément de chaleur.

En hiver, une inertie suffisante permet au bâtiment d'augmenter sa stabilité par rapport aux variations de la température extérieure, ce qui est générateur de confort et d'économie pour les locaux chauffés en permanence. De plus elle joue un rôle important pour l'optimisation des apports solaires en améliorant leur stockage et en réduisant les risques de surchauffe en mi saison.

Les travaux ont confirmé aussi que la performance du bâtiment en relation avec son inertie thermique dépend aussi des circonstances particulières. L'orientation et la forme du bâtiment, la couleur de l'enveloppe, les surfaces vitrées et leur occultation, les matériaux de construction et l'isolation thermique constituent des paramètres influents sur la performance thermique de la construction.

Chapitre V :

Investigation:

Cas d'étude et méthodologie de travail

Introduction :

Les scientifiques disposent d'une panoplie de moyens pour mener à bien leurs recherches. La méthodologie suivie dans chacune d'elles selon M. Angers est un « *ensemble des méthodes et des techniques qui orientent l'élaboration d'une recherche et qui guident la démarche scientifique* »[1]. Dans notre cas et afin d'atteindre l'objectif essentiel qui consiste à évaluer le rôle et l'impact de l'inertie sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique dans le bâtiment nous avons eu recours à l'usage de deux outils de recherche « l'investigation » avec les mesures in situ à l'aide d'instrumentation et « la simulation » à l'aide d'un logiciel informatique.

Dans ce chapitre et dans le chapitre qui suit, l'investigation est menée sur une maison de l'époque coloniale, prise pour l'évaluation de l'impact de l'inertie sur le confort hygrothermique. Cette dernière est un cas vécu, il s'agit de ma propre maison, distinguée afin de dégager tout renseignement et pour bien cerner le sujet. Aussi pour présenter les appréciations subjectives des occupants (la famille, voisins) utiles à l'évaluation de la sensation du confort hygrothermique. La villa contemporaine, deuxième échantillon choisie en comparaison pour évaluer l'impact de l'inertie sur la consommation énergétique.

Dans le but de procéder le plus de signification de ces cas d'étude, on a essayé de scruter les données selon les quatre angles d'analyses: descriptive, explicative, compréhensive et classificatrice. Cela on se servant principalement de l'observation en situation du cas d'étude. Le présent chapitre par conséquent, donne un descriptif détaillé des deux échantillons et la méthodologie du travail sur terrain.

V-1- Critères de choix de la ville de Guelma :

Le choix de la ville de Guelma où s'est déroulée l'investigation est dicté par de multiples raisons. Principalement que c'est une ville antique connue depuis la préhistoire. Elle était pourvue et favorisée surtout en période de colonisation pour ses ressources d'eau ses richesses agricoles et ses défenses naturelles. Le choix porte en outre pour les caractéristiques conflictuelles de son climat, les quelles marquent presque la totalité des climats locaux algériens. C'est aussi la ville où j'habite ce qui permet d'une part et à coup sûr de vérifier la nature de l'échantillon choisi jusqu'aux détails les plus compatibles avec l'état de fait. D'autre part pour profiter des connaissances du membre de personnel de diverses administrations (D.P.A.T, services des forêts,...) afin de bénéficier d'un accès aux documents. Qui n'était pas aussi possible et aisé vu que le terrain de recherche est si vierge.

[1] ANGERS. Maurice, __ *Initiation pratique à la méthodologie des sciences humaines*, __ Alger: Editions Casbah Université, 1997, Québec: Editions CEC inc, 1996, p 58.

V-2- Critères choix de la maison de l'époque coloniale:

En été, la forte inertie de l'enveloppe, faisait de maisons traditionnelles des havres de fraîcheur. Celle-ci permettait aussi le stockage de la chaleur pour face au froid d'hiver. Ce ci mène en fait à une réduite consommation énergétique. La maison de l'époque coloniale représente l'une des maisons traditionnelles qui assuraient cette performance thermique. Manifestant à travers son existence l'adaptation à la rugosité du climat. Abdou. S dans sa thèse de doctorat a entrepris une comparaison entre trois types de maisons: traditionnelle, coloniale et contemporaine sous deux climats, Ouargla et Constantine, affirme que « *la courbe des températures de la maison coloniale montre l'effet positif de l'inertie de la paroi vu que sa valeur reste inférieure à celle de la température extérieure, en plus au début de la soirée elle se stabilise avant de diminuer à cause de la ventilation transversale nocturne* ».

En fait l'architecture de l'époque coloniale « *obéit à des lois très particulières. Quand une nation en conquiert une autre, ou quand un groupe d'hommes quitte son pays pour se fixer dans un autre, les nouveaux venus se trouvent confrontés à un climat différent, à d'autre type de matériaux, et surtout à une cohabitation plus au moins conflictuelle avec les populations autochtones. Le besoin de se défendre et de dormir oriente la construction des villes; la nécessité d'employer des artisans locaux, habitués à des traditions artistiques sans rapport avec celle des colonisateurs, influe d'une manière décisive sur l'architecture importée, à plus au moins terme. C'est ce qui fait l'originalité de l'architecture du XVII e S…* »[2]. Donc cette architecture « *est le fruit d'un rapport de métissage culturel* ».[3]

L'habitation de l'époque coloniale est un modèle installé avec l'occupation Française, s'est propagé dans toute l'Algérie. On y trouve l'architecture rurale et l'architecture urbaine. Il a pu influencer l'architecture locale même après l'indépendance, l'innovation technique on est surtout la cause essentielle. C'est dès 1834 que le modèle colonial s'est répandu à Guelma, partagé en trois groupes : les immeubles d'habitat à plusieurs niveaux, les pavillons appelés villas et les cités de recasements. Plus tard à la veille de l'indépendance un autre type d'habitat appelé H.L.M (habitat à loyer modéré) a vu naissance dans la ville.

Le noyau colonial représente le centre ville actuel de Guelma, d'après le «P.D.A.U Guelma», il a un TOL de 6 à 7 personnes par logement et une population estimée à 12000 h. Ce dernier a tendance de devenir un centre d'affaire, dans la mesure où un nombre important de logements se transforme en bureaux et services et les R.D.C en locaux commerciaux.

[2] MICHEL. Albin, __ *Le grand atlas de l'architecture mondiale*, __ Edition originale Great architecture of world MITCHELL BEAZLEY PUBLISHERS, __ Edition française refondue et complétée: ENCYCLOPAEDIA UNIVERSALIS S.A, France 1982, p326.

[3] Institut national du patrimoine, __ *Architecture coloniale et patrimoine. L'expérience française*, __Acte de table ronde organisée par l'institut nationale du patrimoine, __ Paris : SOMOGY éditions, 2005.

L'analyse architecturale du tissu colonial révèle divers paramètres participants dans la qualité thermique. L'organisation spatiale où la compacité urbaine, la notion de la rue avec les constructions juxtaposées, le tracé orthogonal des voies orienté selon l'axe N.E-S.O ou l'axe N.O-S.E Fig-V-1-et la présence de la végétation (jardin, place) Photo-V-1-. De même les éléments architecturaux omni présents dans la maison de l'époque coloniale comme la cour, la toiture ventilée Photo-V-2-, les murs épais, les caves… qui par leur forme, dimension, disposition ou orientation semblaient être à l'origine de cette performance.

A cet effet l'étude s'est fixée l'objectif de présenter une lecture réelle du comportement thermique d'une maison située à Guelma, datant de l'époque coloniale, selon ses qualités thermo- physiques. En testant le rôle et l'impact de son inertie sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique.

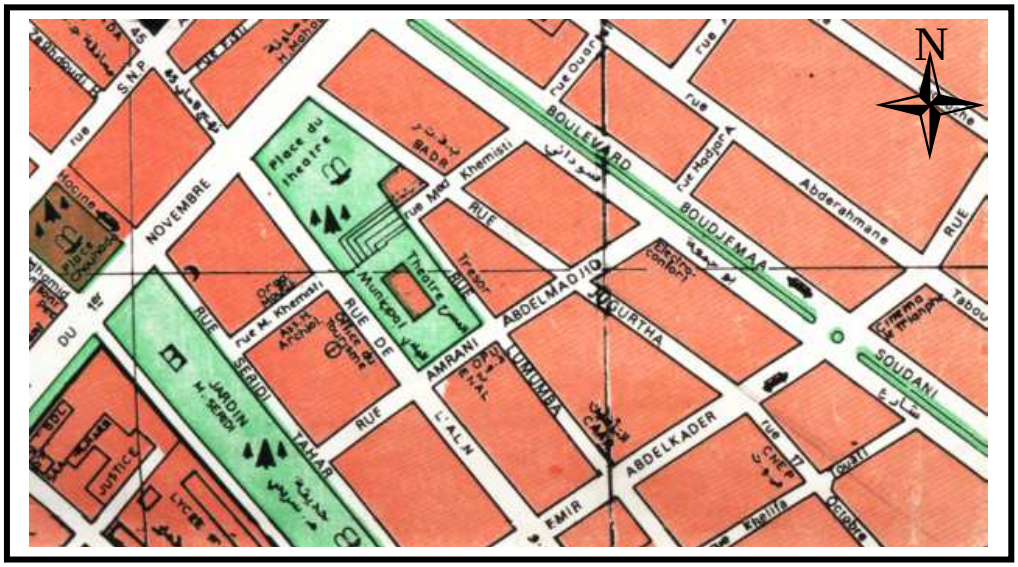


Fig-V-1- Compacité du centre colonial avec la présence de la végétation et places à Guelma (site d'investigation)

Photo-V-1- Jardin de la ville (site d'investigation)

Photo-V-2- Vue aérienne sur le centre colonial à Guelma (présence des cours)

V-3- Descriptif de la maison de l'époque coloniale :

Un échantillon représentatif a servi de support à l'analyse détaillée du comportement thermique de la construction dans son contexte local. La distinction de cet échantillon est relative à plusieurs paramètres qui vont être mentionnés au fur et à mesure dans ce qui suit. Située à Guelma dans un climat chaud, sub humide en été et froid, pluvieux en hiver, la maison s'insère dans un centre colonial dense Fig-V-3-. Elle est en R+1, construite sur une cave semi enterrée. Ouverte sur la rue par la façade sud ouest Photo-V-1-, et sur une cour par la façade nord est Photo-V-4-. En fait il s'agit d'un grand immeuble ancien qui date de 1890, composé de plusieurs maisons individuelles superposées et regroupées autour d'une grande cour Photo-V-5-.

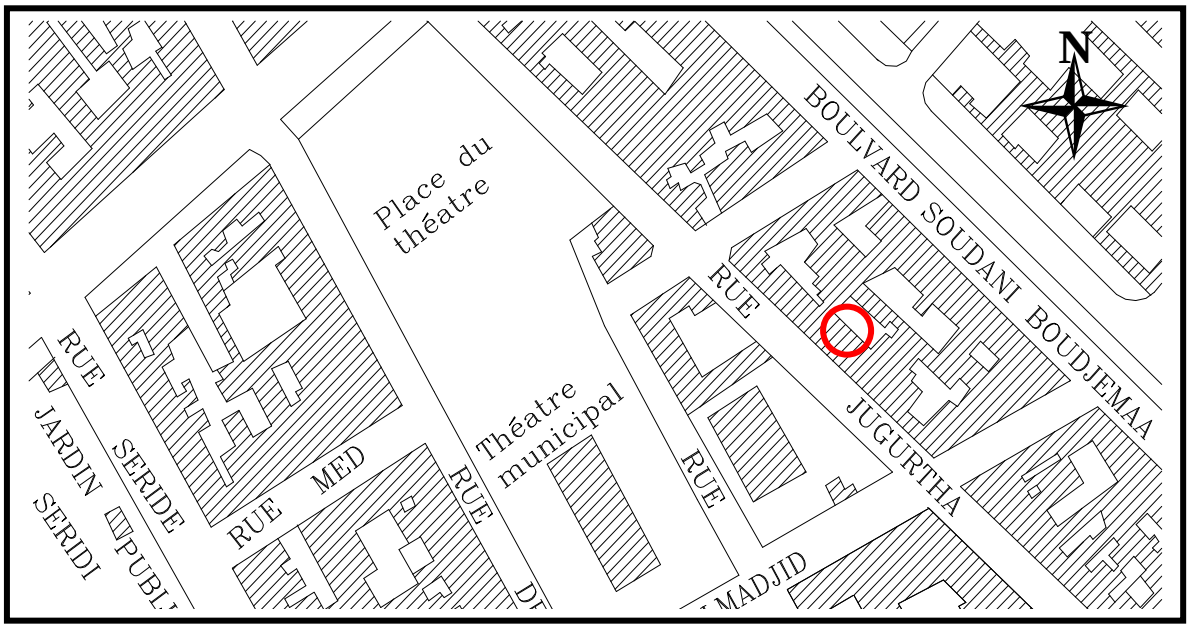


Fig-V-2- Situation de la maison par rapport a centre ville (Source: B.E.W.I.G, réadapté par auteur)

Photo-V-4- Façade sud-ouest (d'entrée coté rue)

Photo-V-4- Façade nord-est (d'entrée coté cour)

Photo-V-5- Vue sur la cour

L'orientation de l'immeuble n'est pas assez favorable pour l'été ou pour l'hiver. Celle du nord-est (coté cour) est protégée de l'intensité du rayonnement solaire en été. Par contre en hiver elle est presque totalement occultée, vu que sa durée d'ensoleillement est très réduite. Celle du sud ouest (coté rue) est plutôt acceptable en hiver, mais en été elle est exposée au rayonnement direct et intense de l'après midi. A ce temps les rayons solaires sont d'une incidence très faible, qui fait qu'ils pénètrent plus profond à l'intérieur. L'azimut de la paroi sud ouest est de 45° et celui de la paroi nord-est est de -135° [4] Fig-V-3-.

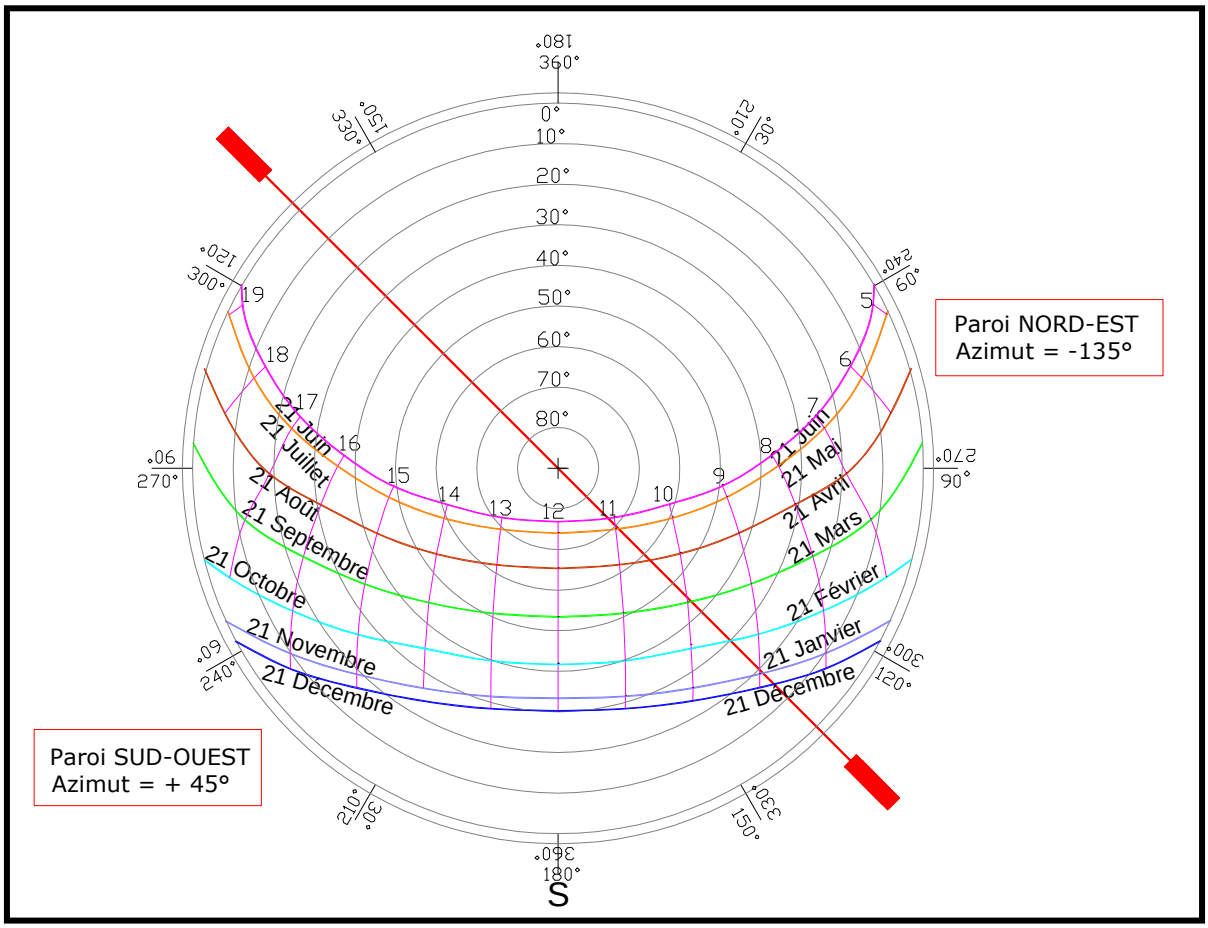


Fig-V-3- Orientation de l'immeuble et trajectoire solaire (Source : Auteur)

[4] Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrés du Bâtiment, __ D.T.R C 3-4 Climatisation : Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments, __ Alger PAO-CNERIB 1998, p75.

La façade sud-ouest est d'une couleur assez sombre, permettant ainsi d'absorber le maximum de rayonnement solaire. Puisque c'est la couleur naturelle de matériaux figurants au dessus, dont le crépissage fin en ciment à la tyrolienne en gris foncé et l'embellissement du soubassement de l'immeuble en pierre taillée de couleur ocre. Excepté les encadrements de portes et fenêtres en mortier de chaux qui sont en couleur claire en blanc cassé. Les volets de fenêtres du R.D.C sont en gris claire et ceux d'étage en bleu foncé Photo-V-6-.

Photo-V-6- Traitement et couleur de la façade sud-ouest (coté rue).

La façade donnant sur la rue constitue une surface plane dont il n'y a aucun élément qui déborde. Les balcons de l'étage supérieur n'ont aucun effet d'occultation sur le R.D.C. La façade donnant sur la cour, avec la coursive de l'étage supérieur protège plutôt l'étage inférieur de la pluie. Les fenêtres sont grandes d'une surface de 2 m², dotées d'une ossature en bois et du vitrage simple. Protégées extérieurement par des persiennes en bois, et intérieurement par les toiles opaques de couleur verte et voilages blancs.

En plus il n'y a aucun masque environnemental existant sur le site qui puisse occulter la façade, du fait que les constructions sont en bandes de part et d'autre de la voie. Pour l'immeuble testé, les maisons qui lui sont mitoyennes de ses deux cotés latéraux sont d'une hauteur inférieure. L'alignement de l'autre bout de la voie est avancé par les fonds de lots de parcelles des constructions. La présence des jardins au niveau des fonds de lots permet avec la voie, chaussée et trottoirs une distance assez longue dépassant les 20m Fig-V-4-.

Mais le bâtiment du trésor de la ville qui est frontal à l'immeuble dispose d'un jardin donnant sur la rue comprenant une multitude d'arbres, de plantes et d'arbres fruitiers Photo-V-7-.

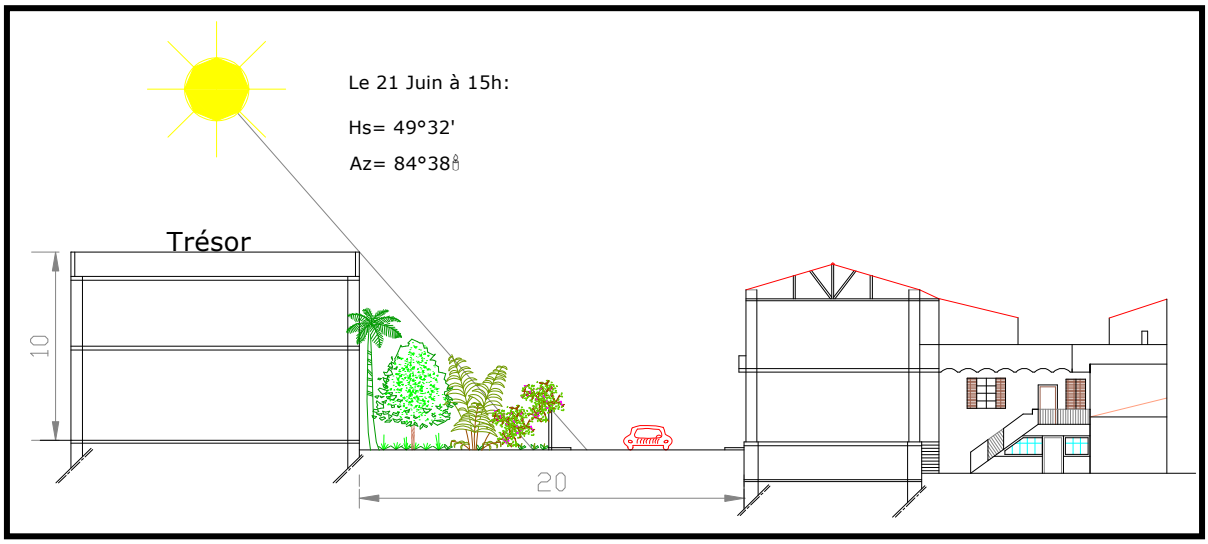


Fig-V-4- Prospect rue (Source : Auteur)

Dans le but de certifier l'effet de ces plantes sur le voisinage, des échantillons ont été pris aux services des forêts de la ville pour les identifier. Distinguant ainsi le pin, le cyprès, les palmiers, l'ailante, le jasmin, le lierre, le cognassier, le casuarina, le rosier, le grenadier, le figuier, l'abricotier, le mandarinier, le citronnier, le bananier, le fraisier, la treille, le mûrier, le pêcher, l'amandier, l'olivier et le néflier. Il a été constater que ces plantes ont beaucoup plus d'effet sur la voie que sur les constructions d'en face. Surtout dans la création de l'ombre sur le trottoir, si les plantes ne sont pas taillées, et l'élévation du taux d'humidité. (Voir annexe -III-).

Photo-V-7- Le trésor avec le jardin en face de l'immeuble échantillon.

Les paramètres déjà élucider justifient bien le choix de cet échantillon pour apprécier uniquement le rôle de l'inertie sur le comportement thermique du bâtiment. Sans qu'i y est l'avantage de l'occultation, de masques environnementaux, de couleur ou de l'orientation. Permettant ainsi de vérifier l'hypothèse sur la qualité performante de l'inertie sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique l'été comme l'hiver.

Signalons que cet immeuble n'a pas subit de grandes modifications, distraction ou reconstruction complète et il est en bon état. Les quelques travaux subits concernent surtout la réhabilitation. Comme la construction de douches ou de salles de bain, le revêtement de sol, et la suppression de cheminées qui étaient dans chaque pièce de l'immeuble en laissant certaines sauf pour l'esthétique.

Le système constructif de l'immeuble est en murs porteurs en moellons de pierre, d'une épaisseur de 56 cm et plus de 65 cm pour les murs de caves. En fait « *il y a trois familles principales de murs en pierre: la maçonnerie en pierre de taille, dont l'appareillage concerne toute l'épaisseur dur mur, la maçonnerie dans laquelle seuls les parements sont appareillés tandis que le cœur du mur est constitué par un béton dit fourrure, et les murs en maçonnerie ordinaire, qui ont été les plus couramment utilisés* ».[5]
Parmi ces trois familles, les murs de l'immeuble sont du type traditionnel en maçonnerie ordinaire. Ils ont un poids propre de 2500 Kg/m³, constitués d'assises de pierres hourdées au mortier de chaux. Ils sont formés par deux rangées d'éléments qui, semble correspondre à deux murs accolés, séparés par un vide, chacun d'eux étant monté lit par lit avec une seule rangée. Quelques pierres longues sont montées en boutisse pour assurer la liaison entre les deux murs élémentaires accolés Fig-V-5-.

Fort heureusement que quelques maisons au sein du quartier sont en état de réhabilitation, et l'une des caves de l'immeuble est restée telle qu'elle a été construite à l'origine. Ce-ci nous a permis de constater plusieurs effets dont celui de montage du mur (lit par lit) qui confirme une fois de plus l'avis de L. Coignet1987, Jean et Laurent Coignet 2003

Le mur de cave donnant sur la rue, à l'exception est monté en trois rangs de moellons pour plus de rigidité à l'immeuble et la protection contre la pluie Photo-V-8-. En plus des carreaux en pierre de taille dure constituant le parement extérieur du soubassement. Ayant une fonction porteuse, les parements sont d'une dimension de 35 ×24 ×65 cm. Permettant par conséquent une épaisseur supplémentaire au mur de cave jusqu'à 73 cm.

[5] COIGNET. Jean et Laurent, __ *La maison ancienne: Construction, diagnostic, interventions*, __ Paris : EDITIONS EYROLLES, 2003, p30-33.

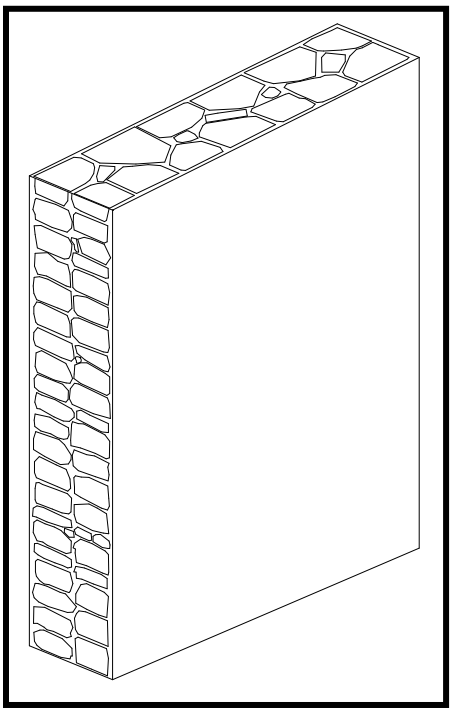


Fig-V-5- Montage des moellons lit par lit laissant un vide sur toute la hauteur du mur (R.D.C et étage) (Source : Auteur)

Photo-V-8- Montage du mur de cave en trois lits.

Certes les moellons sont hourdés en mortier de chaux, mais la diversité de formes et de grosseurs des pierres laisse apparaître des interstices sur toute la largeur du mur, avec une part relative du mortier entre les moellons Photo-V-9-.

Photo-V-9- Appareillage de la pierre laisse apparaître des interstices sur toute la largeur du mur (cave)

En plus des moellons de pierre, on remarque l'utilisation de divers gabarits de briques suivant l'usage. Soit de petites pièces pour les parements (jambage, arc sous voûtes, cloisonnement et dans la chaîne verticale marquant l'extrémité de l'immeuble). Soit de grands carreaux pour les assises horizontales du mur même Fig-V-6-. Les structures appareillées contribuent d'autant plus fortement à donner à l'immeuble son caractère architectural qu'elles portent les éléments de plâtre sculptés à la modénature.

L'enduit extérieur utilisé des murs porteurs est le mortier de ciment d'une épaisseur de 1.5 cm, et à l'intérieur le plâtre de même épaisseur.

Les cloisons intérieures sont en briques pleines, soit d'une épaisseur de 15 cm si la pose de brique est à plat, ou de 7 cm si la pose de brique est de champ.

L'ossature primaire des planchers des R.D.C est en voûtes, constituée d'arcs en briques pleines sur caves tracés dans le sens de la largeur des espaces couverts. Ce type de plancher est d'un poids propre considérable Fig-V-7-.

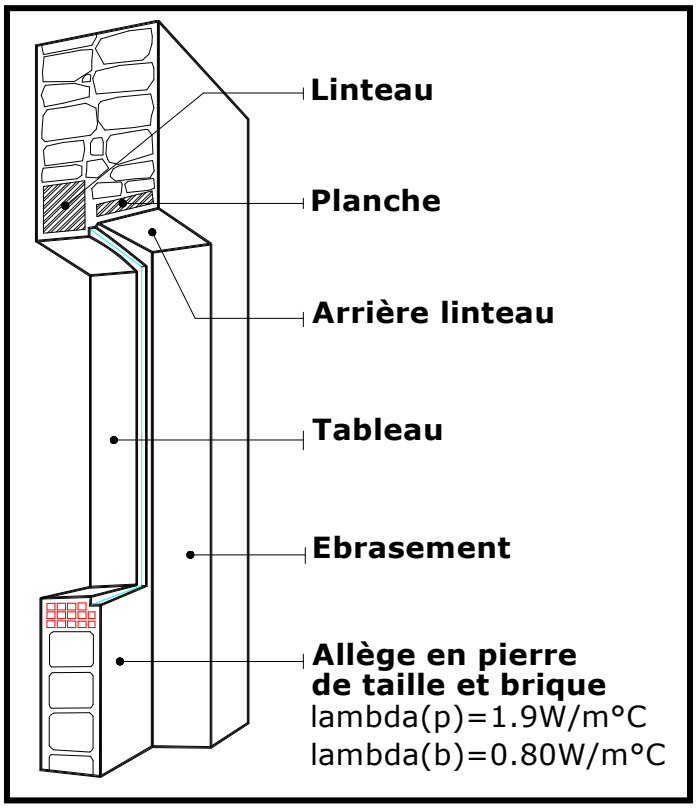


Fig-V-6- Utilisation de la pierre de taille et la brique (soubassement et allège) (Source: Auteur).

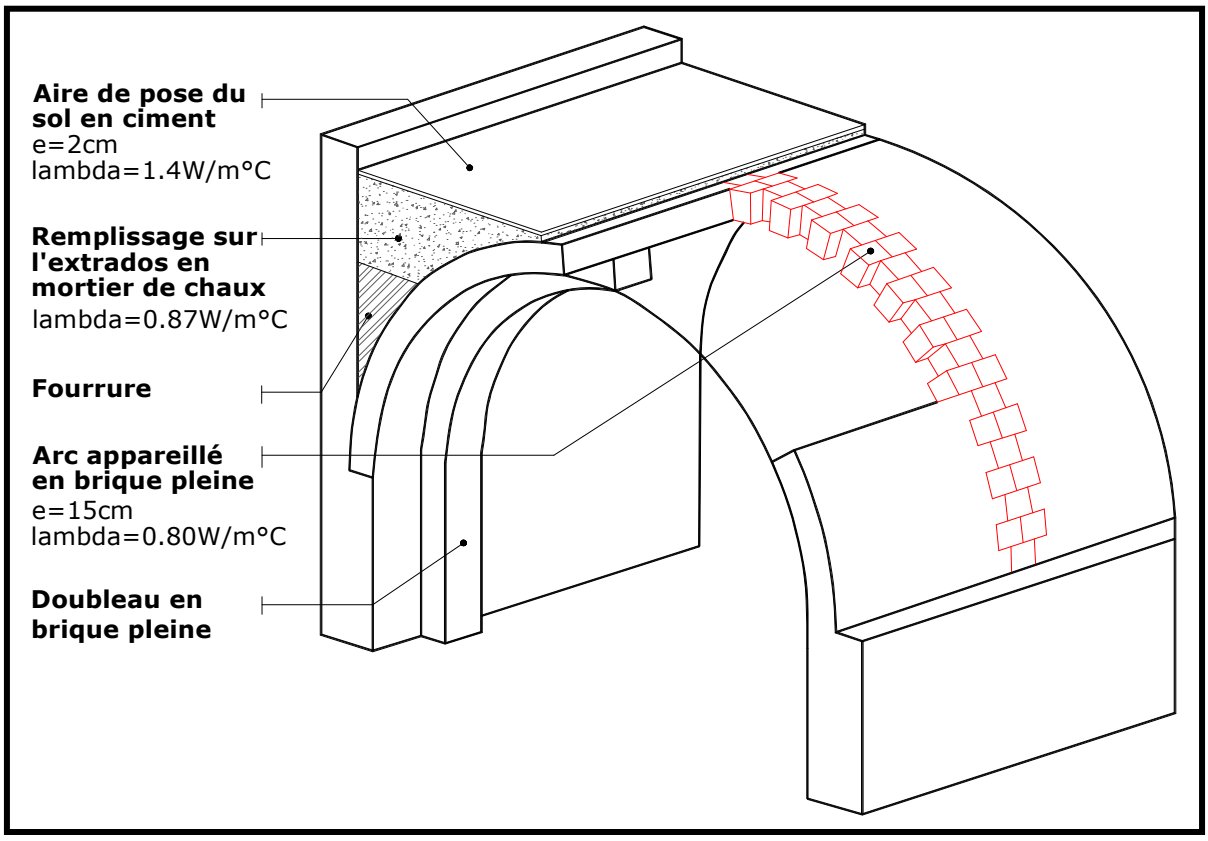


Fig-V-7- Détail du plancher du R.D.C sur voûte au dessus de la cave (Source : Auteur).

Les planchers d'étage se composent de la traverse qui constitue l'élément porteur. Celle-ci est formée de lambourdes en bois scellées contre les murs porteurs et de solivage de poutrelles encastrées (I) en fer forger, emprisonnant les voûtains en briques. Ces derniers sont visibles de l'extérieur mais à l'intérieur un plafond est prévu de plus. Sur cette structure est posé le parquet en carrelage et mortier de ciment formant ainsi une épaisseur de 25 cm. Ce type de plancher est aussi d'un poids propre relativement important Fig-V-8- .

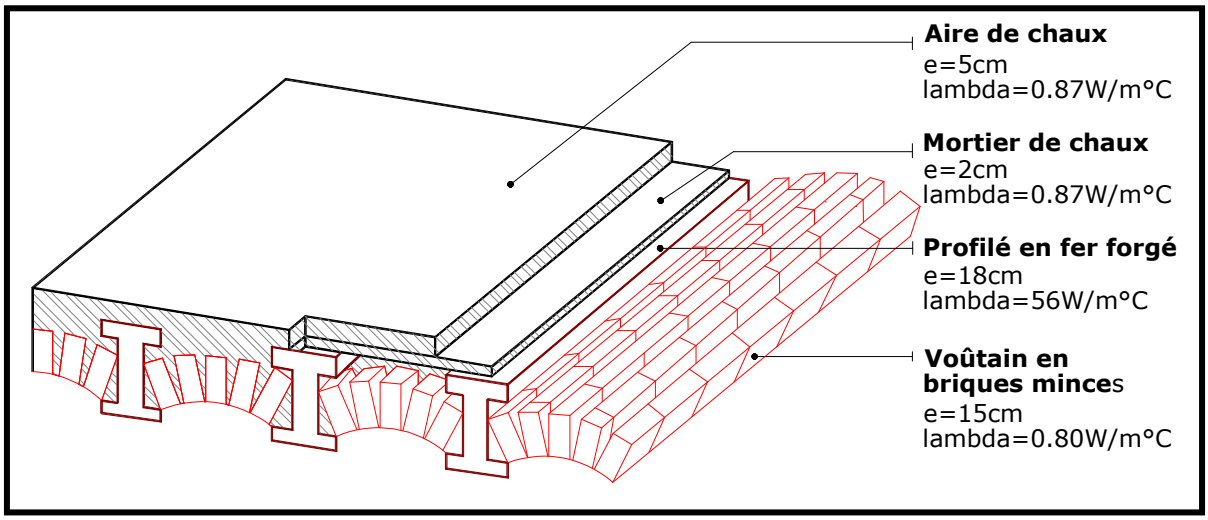


Fig-V-8- Détail du plancher de l'étage (Source : Auteur)

La toiture est à deux versants en pente, couverts en tuiles canal Fig-V-9-. Le vide entre le plafond et la panne faîtière est plus de 1.70cm.

D'autres part la hauteur de chaque étage dépasse 3.70 m, et celle des caves est de 2.17m.

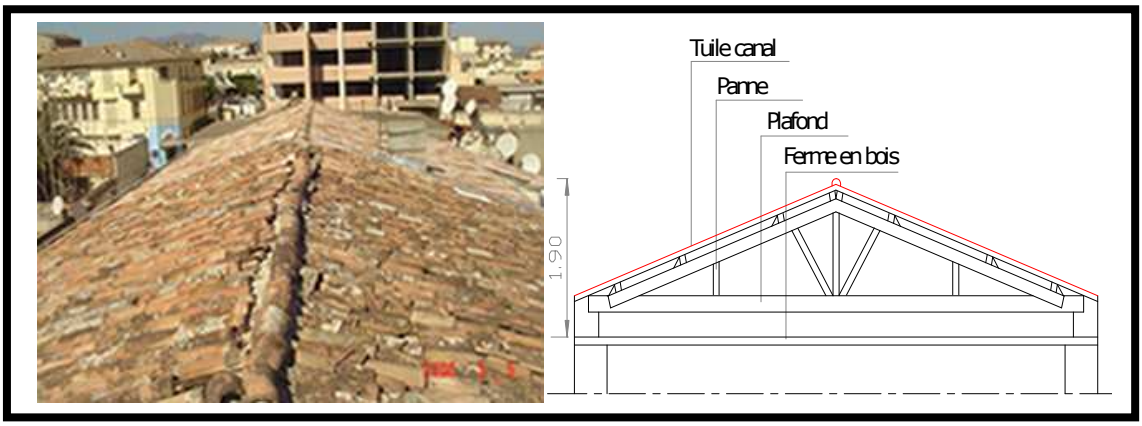


Fig-V-9- Détail et vue sur la toiture en pente de l'immeuble (en tuile canal) (Source : Auteur)

Sur la nature lithologique des pierres constituant les murs porteurs, une tentative d'identification a été entreprise en prenant des échantillons au laboratoire de géologie à l'université d'Annaba. Il s'est avéré qu'il s'agit du travertin, de grés numidiens et de calcaire dolomitique. Le « travertin » est la pierre la plus abondante dans la constitution du mur, les grés sous forme de galets présentent un pourcentage assez inférieur, et le calcaire dolomitique est uniquement utilisé au niveau du soubassement.

Les grés constituent l'arénite consolidé dont au mois 75% des grains sont en quartz.

Le calcaire dolomitique est formé de feldspath, de quartz et de mica. C'est une pierre très dure, très inaltérable, et susceptible d'un beau poli, mais par suite de sa dureté et sa densité élevée, c'est toujours un produit très coûteux. C'est pour ça elle n'a été utilisée qu'au niveau du soubassement.

Le travertin (ou tuf calcaire) est une roche calcaire d'origine sédimentaire continentale, de couleur grise à jaunâtre. Caractérisée par de petites cavités inégalement réparties Photo-V-10-. Elle se présente sous forme de plateau ou de terrasse, formée par l'accumulation de dépôts calcaires, et que l'on retrouve à proximité des sources thermales et des geysers.[6]

Photo-V-10- Echantillon du travertin prélevé du mur de cave (présence des vacuoles).

[6] Un article de Wikipédia, l'encyclopédie libre, _ [En ligne] http://fr.wikipedia.org/wiki/Travertin, _ Dernière modification le 10 février 2006 à 18:51.

Carbonatée superficielle, la roche du travertin est constituée lors de la séparation du CaCO3 du carbonate de calcium acide dissous dans l'eau « *Le carbonate de calcium en solution dans l'eau précipite par évaporation ou par perte de CO_2 lors de baisse de la pression ou de turbulences. C'est ainsi que se forment des dépôts de calcaire concrétionné aux griffons de résurgences et de sources, au pied de cascades et à certaines ruptures de pente de cours d'eau. Pour Meyer 1986, l'activité bactérienne n'est pas étrangère à ces dépôts que l'on appelle tufs ou travertins. Compactes et laminées, ou massives poreuses ou vacuolaires, ces roches peuvent conserver l'empreinte des feuilles autour desquelles elles se sont formées* » [7]

D'après la carte géologique de la ville Fig-V-10-, le travertin constitue la roche composante de presque la totalité de son relief. D'âge quaternaire (formation récente), le travertin de Guelma occupe de vastes surfaces au sud de la ville jusqu'aux pieds de la Mahouna et dans la région d'Héliopolis. Ce calcaire est tantôt gris tantôt blanc- rosé, souvent riche en *oogones de charophytes*.[8]

Le travertin est la conséquence d'une activité hydrothermale intense, surtout que Guelma dispose de multiples sources thermales. On raconte même qu'il y avait une source au centre ville, mais qui a disparue suite à l'urbanisation. Cette roche était si proche du site d'implantation de l'immeuble, alors c'est un matériau local qui a été utilisé. Or il semble bien que ce n'est pas uniquement qu'il s'agit d'un matériau local qu'il a été utilisé, c'est surtout à cause des diverses caractéristiques qu'il présente.

[7] SLANSKY. Maurice, __ *Terminologie et classification des roches sédimentaires formées de silice, silicates, carbonates et phosphates Manuels et méthodes N°22,* __ Orléans, France: Edition du BRGM 1992, p 76.
[8] VILA. Jean Marie, __ *Notice explicative de la carte géologique à 1/50000 Guelma (54),* __ ORGM : Office National de la Recherche Géologique et Minière, Edition du Service géologique de l'Algérie Boumerdes 1993, p6

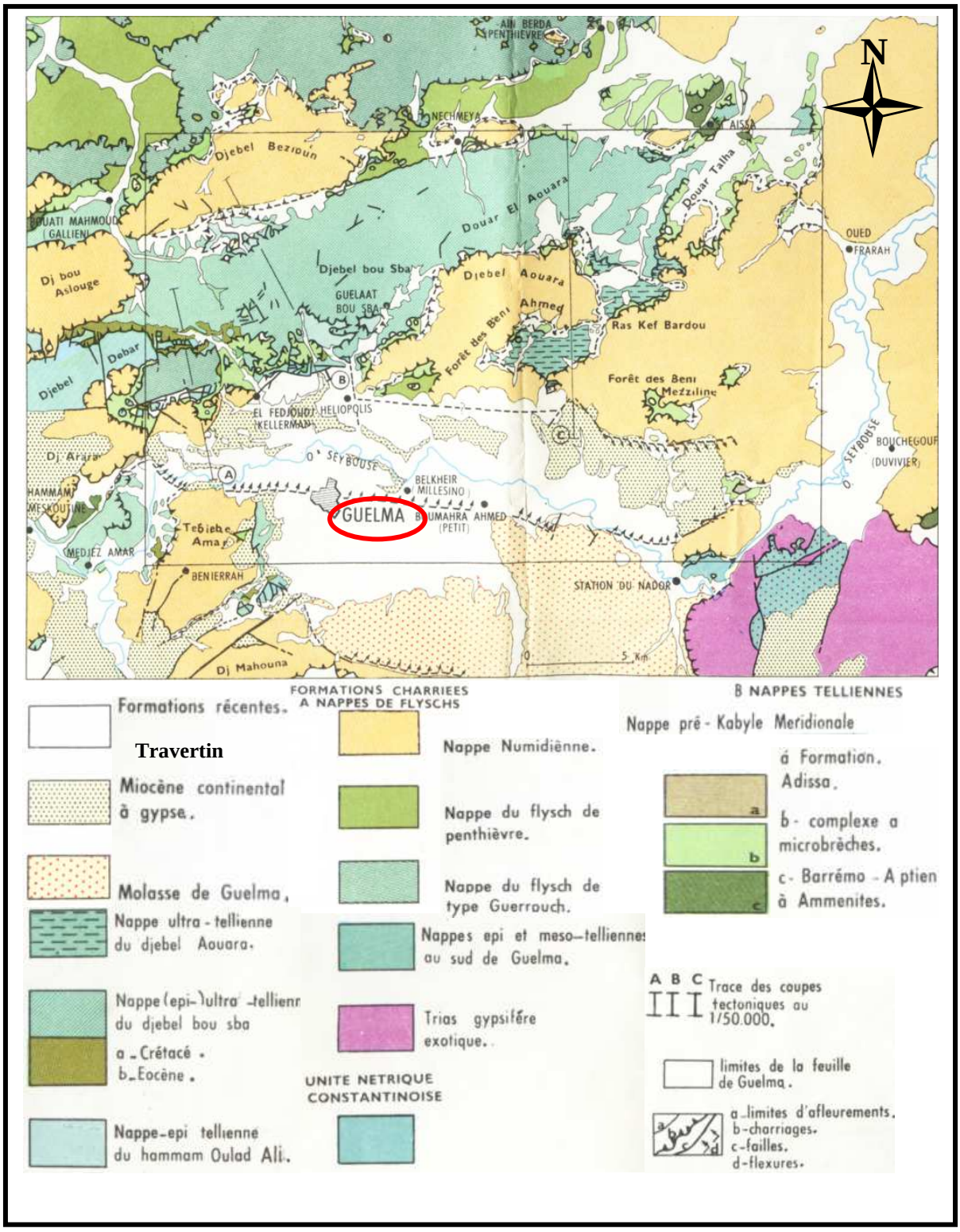


Fig-V-10- Carte géologique de la région de Guelma.

(Source: J.M.Villa, 1993, et réadapté par auteur)

Notant que l'utilisation du travertin en construction remonte à plusieurs siècles. Il a été employé dans les pavements, les seuils et dans les colonnes de la cité de Pompéi. La ville d'Ascoli en Italie est entièrement construite en travertin, dont on l'appelle la ville du travertin. Elle l'utilise localement et l'exporte vers d'autres régions d'Italie et à l'étranger. Plusieurs bâtiments anciens en Normandie sont aussi construits en travertin.

Actuellement les travertins ou tufs de très grande porosité sont utilisés dans la production de la chaux, alors que les tufs compacts ayant de petits pores sont employés comme pierres de taille pour la maçonnerie et comme agrégats pour les bétons légers[9]. Par ailleurs, en Russie il est utilisé dans le montage des murs « panneaux sandwich ».

Sa particularité qu'il présente des cavités vermiculaires à l'état brut, que l'on rebouche ou non selon sa destination. Le travertin est souvent utilisé en dallage, escalier ou plateaux divers et variés (table, buffet…). A l'extérieur, par exemple, s'il sert d'entourage de piscine ou de revêtement de terrasse, on le posera brut de sciage ou vieilli, sans rebouchage. Contrairement à l'intérieur, où il sera poli ou adouci et rebouché, pour la commodité de l'entretien.[10]

Il s'agit donc d'un matériau dur et isolant à cause des cavités. On l'utilise dans le bâtiment tant pour la décoration que pour les revêtements intérieurs ou extérieurs, et dans les endroits secs ou humides.

Dans le but d'approfondir la recherche et déduire le comportement thermique du moellon travertin, des échantillons ont été pris au laboratoire «L.T.P EST» * Photo-V-11-.

Photo-V-11- Effectuation des analyses au niveau du laboratoire L.T.P EST

[9] KOMAR. A, _ *Matériaux et éléments de construction Technique soviétique*_Edition de Moscou 1982, p39
[10] Le travertin,_ [En ligne] www.atelier- de- pierre.com/letravertin.php, _ Dernière mise à jour le 13/02/2006.
* L.T.P. EST : Laboratoire des travaux publics de l'est. Direction régionale à Constantine, antenne Guelma.

On s'est limité sur l'analyse chimique, la porosité et l'absorption pour constater les effets hygrométriques vu qu'ils sont étroitement liés au phénomène de transfert de chaleur. Puisque ni ce laboratoire ni aucun autre laboratoire au niveau de tout l'est algérien élabore les tests du comportement thermique des matériaux.

L'analyse chimique a révélé qu'il contient 86.99% de $CaCO_3$, 11.1% d'insolubles et des traces de gypses. La porosité présente de 2.25 à 2.75 %, et le coefficient d'absorption est de 0.83 à 0.85. Donc les pierres mises en œuvre sont de porosité assez différente. Les échanges de vapeur entre l'intérieur et l'extérieur seront les plus importants au niveau des pierres les plus poreuses.

Pour déduire la conductivité du travertin, on a considéré les facteurs dont dépend celle ci à savoir la densité, la nature chimique et l'humidité du matériau. D'où la conductivité moyenne prise du D.T.R égale à 0.85W/m°C, similaire à la conductivité de la pierre calcaire mais très tendre, choisie pour sa plus faible conductivité parmi toutes les pierres calcaires.

A savoir que les murs dans les bâtiments traditionnels (50cm en général) ont une conductivité assez homogène. De plus l'utilisation du mortier de chaux offre l'imperméabilité à l'eau de pluie, et la perméabilité à la vapeur. Du fait que cet enduit respire, et l'aspect de sa perméabilité à la vapeur d'eau qui permet d'équilibrer les humidités internes et externes est perçu comme un avantage.[11] La perméabilité à l'air sera plus particulièrement importante par temps sec où la vapeur en transit s'évapore au lieu de se stocker dans les moellons poreux.

La cave par contre même lorsqu'elle est réputée saine, est humide. A signaler que les vacuoles du travertin sont de diamètres variables, communiquent entre eux. Dans les moellons saturés, l'eau occupe tous les vides. Dans les parties supérieures non saturées, l'eau n'occupe et ne s'élèvent que dans les vides les plus étroits, les vides les plus larges sont remplis d'air. Cette particularité explique le fonctionnement d'un drainage. De plus il n' y a pas le risque de remontée capillaire dans les calcaires dures, où chaque lit constitue une arase étanche.[12] Surtout que le travertin est un calcaire (86.99%de $CaCO_3$) dur.

Alors on constate que d'un coup l'utilisation du mortier de chaux offre la perméabilité à l'air et l'imperméabilité à l'eau, ce ci ralenti le transfert de chaleur. Par ailleurs les moellons du travertin avec les vacuoles permettent la bonne circulation de l'air où ils constituent des lames isolantes, ce qui réduit aussi le transfert de chaleur. Le risque de l'humidité au niveau des étages est excluant, vu qu'il n'y a aucun spectre au niveau des

[11] COIGNET. Jean, _ *Réhabilitation : arts de bâtir traditionnel connaissances et techniques*, _ Aix-En-Provence Edition EDISUD 1987, p43-99.
[12] COIGNET. Jean et Laurent, _ *La maison ancienne : Construction, diagnostic, interventions*, _ Paris : EDITIONS EYROLLES, 2003, p43.

murs. D'une part le volume des pièces est important et chaque espace est bien ventilé. D'autre part le coefficient d'absorption est assez réduit 0.83 à 0.85. Pour l'humidité de la cave, celle-ci est évacuée par le drainage de l'eau par les vacuoles du travertin, en plus elle est isolée du R.D.C par le plancher lourd au dessus de la voûte.

En raison de la situation en zone urbaine, les maladies de la pierre peuvent se provoquées. La dégradation de celle-ci a souvent pour origine la pollution atmosphérique véhiculée par les précipitations (brouillard ou pluie). En manifestant des réactions chimiques nuisibles après l'attaque des sels nocifs et du calcin qui protègent la pierre[13]. Ce-ci est loin d'être présent dans le cas de l'échantillon puisque la ville de Guelma, comme c'est déjà évoqué dans l'analyse microclimatique est une ville à vocation agricole.

V-4- Programme et objectifs :

L'investigation a été menée sur deux maisons superposées de l'immeuble, occupées par deux familles différentes. Ces maisons sont d'entrées séparées Photo-V-12- Elles ont été minutieusement sélectionnées dans le but de permettre à la fois l'évaluation de l'effet de l'inertie du sol (sur cave), des murs pour l'R.D.C et l'effet de l'inertie de la toiture, plancher pour l'étage Fig-V-11-, Fig-V-12-, Fig-V-13, Fig-V-14-.

Le choix du nombre de maisons a été conditionné par le nombre d'appareils de mesure empruntés. L'espace à tester retenu au R.D.C est la chambre N°1donnant sur la rue, orientée sud ouest avec un mur pignon donnant sur skiffa orienté sud-est. De même l'espace pris en étage est une pièce (CH : N°2) au dessus de la chambre du R.D.C, avec un mur pignon (56cm). Utilisée assez constamment par une fille, cette pièce est choisie pour cause du respect de l'intimité du couple (parents).

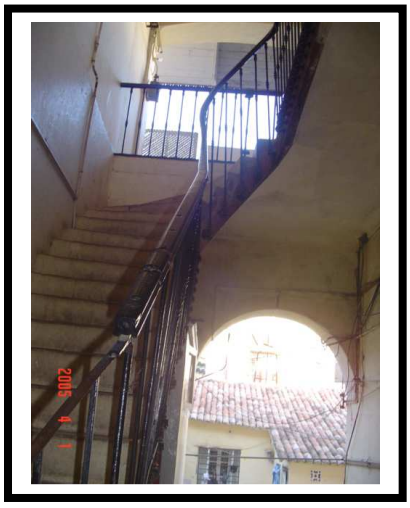


Photo-V-12- Cage d'escalier menant à l'étage supérieur.

[13] VALIERE. Gilbert, __ *Le ravalement des façades Mode d'emploi Nettoyage et décapage des façades anciennes et modernes*, __ Paris: EDITION EYROLLES, 1998, p46.

Concernant la vitesse de l'air, et par faute d'appareillage, l'étude s'est fixée une valeur inférieure ou égale à1m/s. Sachant que d'une part la vitesse de l'air influence les échanges de chaleur par convection et augmente l'évaporation à la surface de la peau. D'autre part l'air en contact avec la surface de la paroi se refroidit et s'alourdit, et il est ensuite remplacé par l'air chaud. Plus la vitesse est grande, plus les échanges sont importants. Mais à l'intérieur des bâtiments l'impact de la ventilation sur le confort est négligeable tant que la vitesse de l'air ne dépasse pas les 2 m/s. [14]

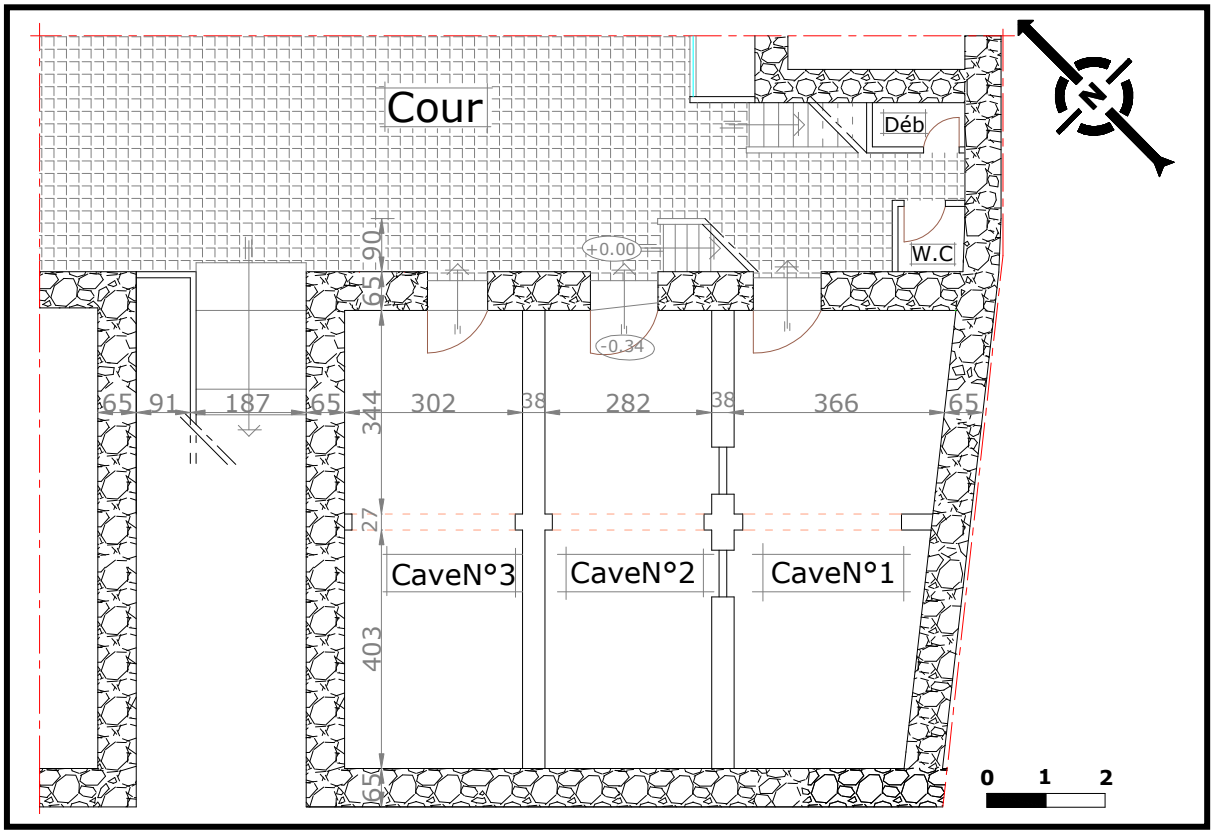


Fig-V-11- Plan de sous sol (Source : Auteur).

[14] ABDOU. Saliha, __ *Investigation sur l'intégration climatique dans l'habitation traditionnelle en régions arides et semi arides d'Algérie: Cas du Ksar de Ouargla et de la médina de Constantine*, __ Thèse de doctorat Université de Constantine, 2 004, p136-137.

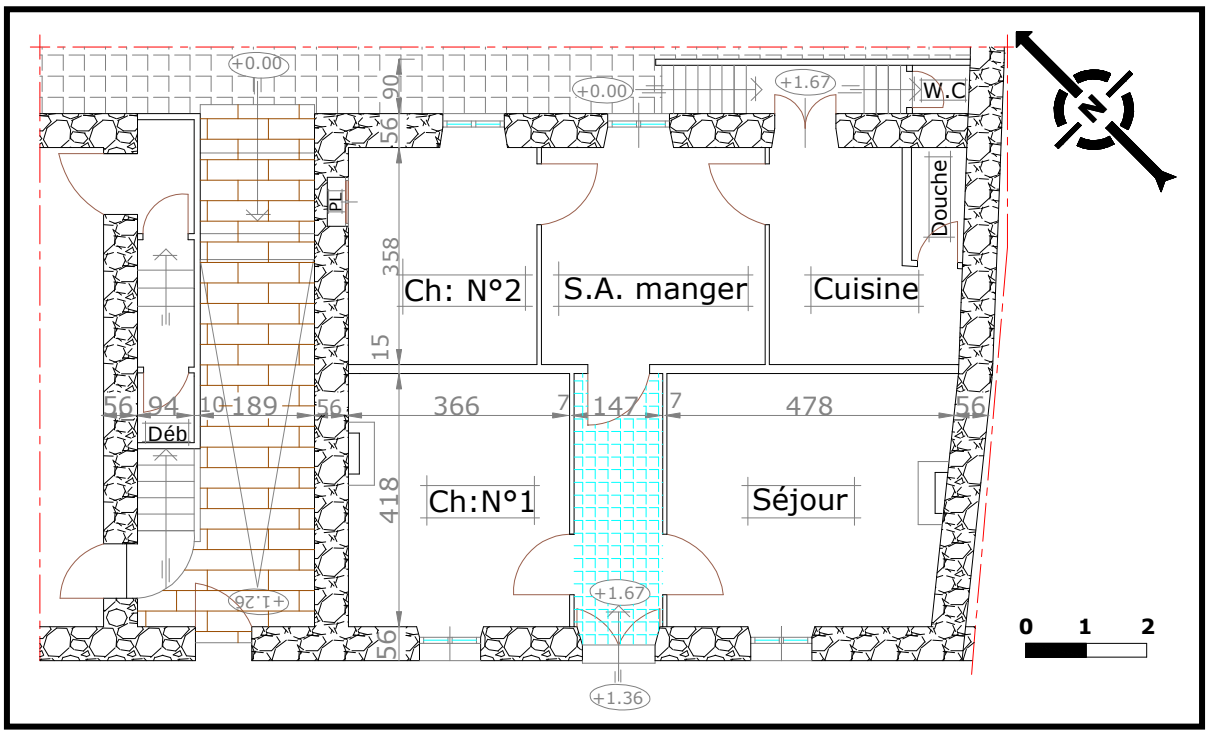


Fig-V-12- Plan R.D.C (Chambre N°1 : pièce d'investigation) (Source : Auteur).

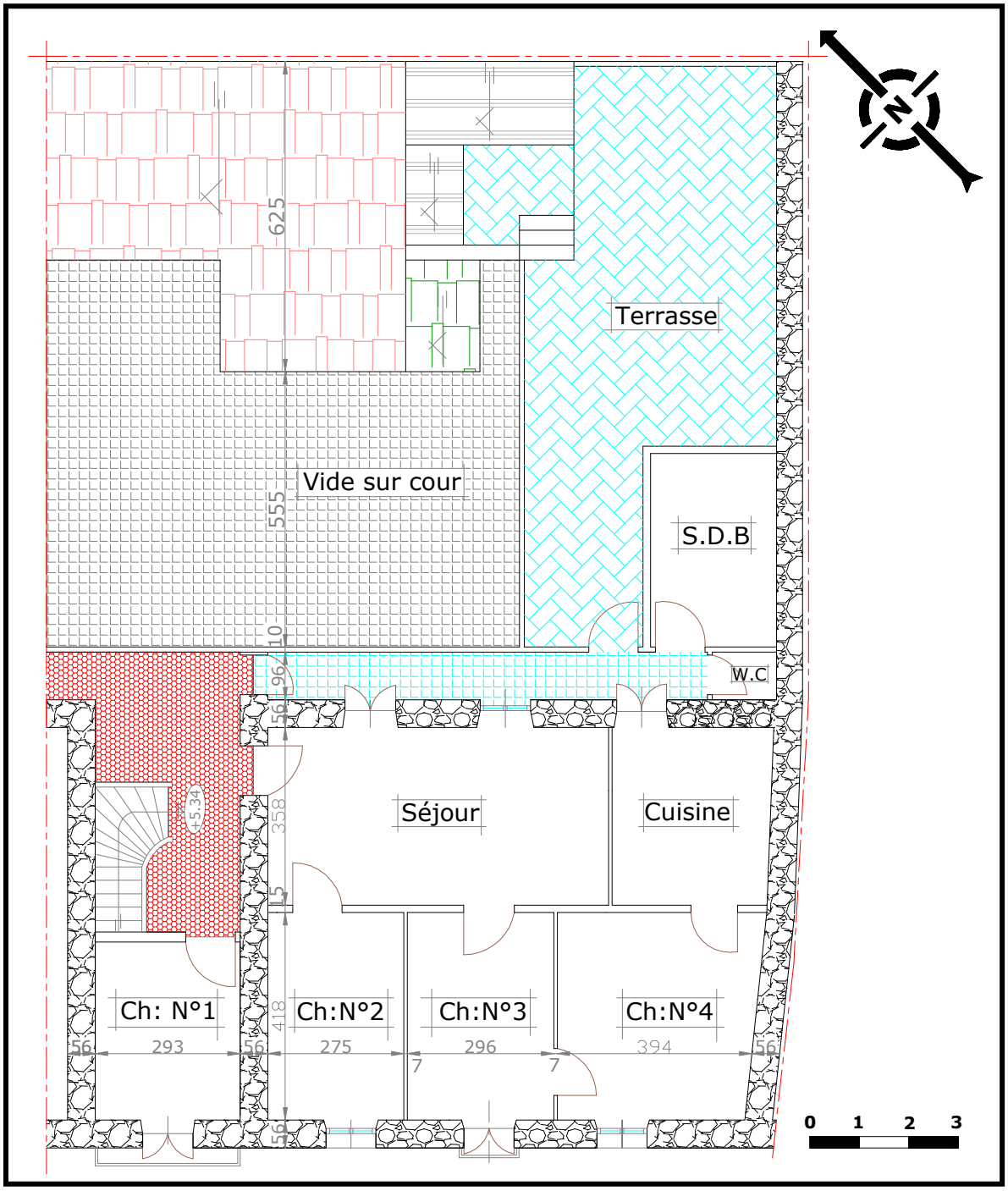


Fig-V-13- Plan étage (Chambre N°2 : pièce d'investigation) (Source : Auteur)

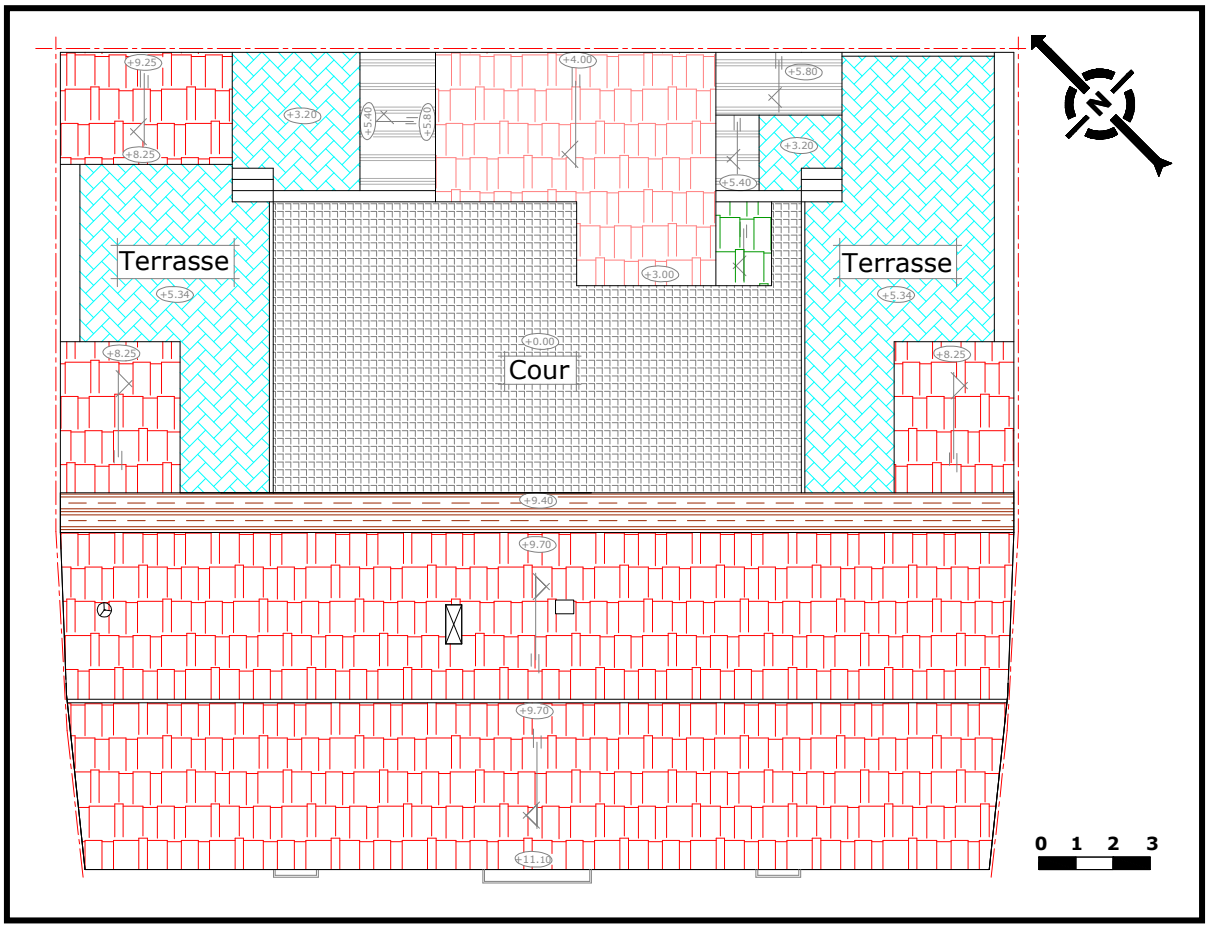


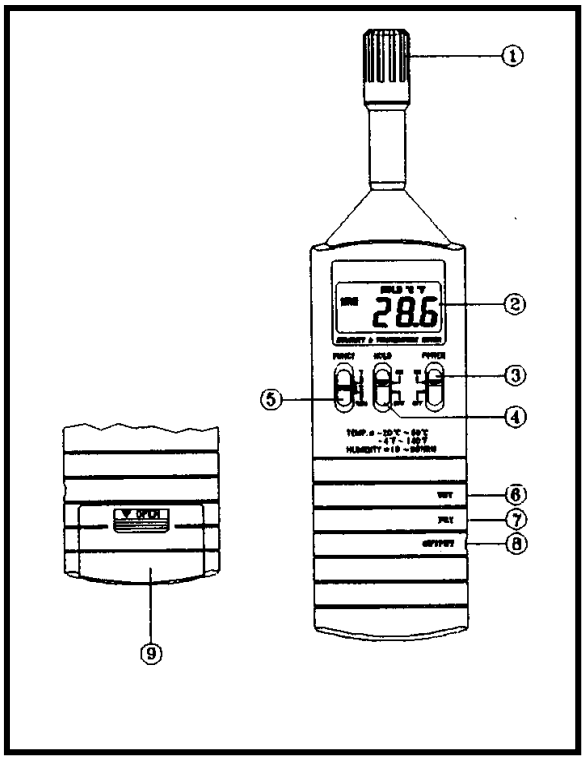
Fig-V-14- Plan de toiture (Source : Auteur)

V-4-1- Les appareils de mesures utilisés :

Les appareils utilisés pour les relevés bi horaires de température de l'air et de l'humidité relative sont la centrale météo avec le thermomètre émetteur, et le hygromètre - thermomètre digital du modèle: TES-1360 Photo-V-13-. Les capacités et les détails de fiabilité de ce dernier sont représentés dans la Fig-V-15.

Les mesures ont été effectuées en même temps en R.D.C qu'en étage. L'étude s'est servie en R.D.C de la centrale météo avec le thermomètre émetteur Photo-V-14- pour le prélèvement de la température et de l'humidité. D'une part ceux de l'air ambiant à l'intérieur de la pièce, et d'autre part ceux de la rue (avec le thermomètre émetteur placé à l'extérieur). Tandis que le thermo- hygromètre digital a été utilisé en étage pour les prises de températures et d'humidités de l'air ambiant à l'intérieur de la pièce, mais sans pour autant répéter les mesures extérieures.

Photo-V-13- Les appareils de mesures utilisés.



Front panel description

1. Humidity & Temp. Sensor Cap
2. Display
3. Power ONN/OFF Swich
4. DATA HOLD ONN/OFF Swich
5. Temp. / % RH Selector Swich
6. "WET" % RH Callibration Adjust Trimmer
7. "DRY" % RH Callibration Adjust Trimmer
8. Analog Signal Output Jack
9. Battery Cover

Fig-V-15- Le thermo- hygromètre

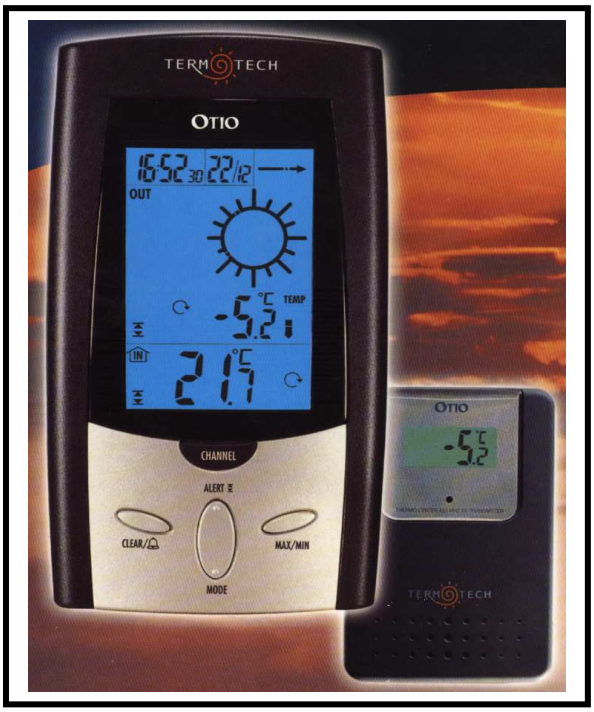


Photo-V-14- La centrale météo avec le thermomètre émetteur

La centrale météo « OTIO et THERMOTECH » modèle 94030 sans fils (30m) mesure les paramètres météorologiques et reçoit les informations transmises par ondes radio par le thermomètre émetteur. Elle constitue en même temps un baromètre, un indicateur d'orage, un hygromètre, un thermomètre intérieur et extérieur et une horloge calendrier.

Le thermomètre émetteur permet une plage de mesure de -50 à 70°C avec une précision de + / - 2°C. Le hygromètre quant à lui, sa plage de mesure est de 0 à 99% avec une précision de + / - 5%.

Durant les jours d'investigation le thermomètre hygromètre a été posé sur la cheminée à une hauteur de 1m, et le récepteur sur la persienne de la fenêtre à 1.50m de hauteur. Les occupants des deux familles sont tous des adultes, dont il n' y avait pas de risque d'éventuelles manipulations qui puissent fausser les lectures. Les prises se sont effectuées au centre de la pièce à une hauteur de 1.50m Fig-V-16-.

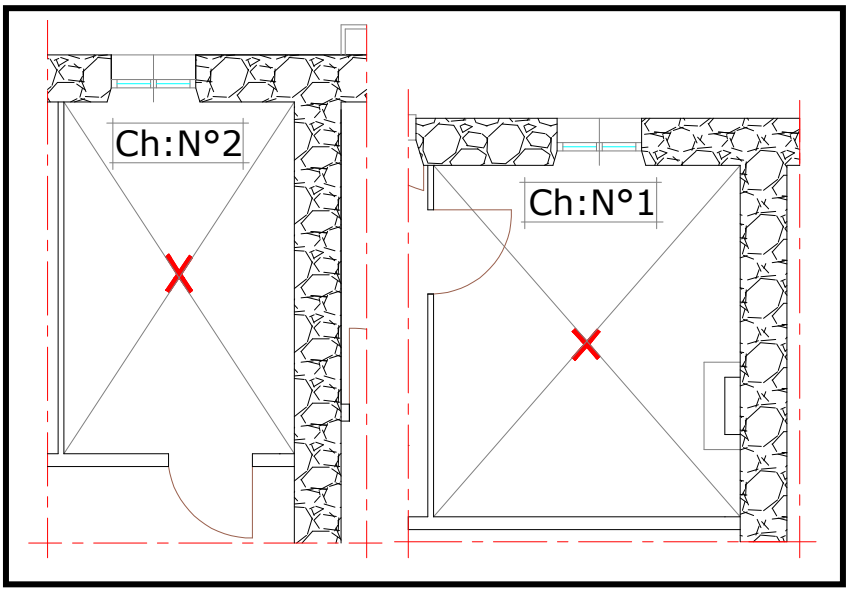


Fig-V-6- Points de prise de température et d'humidité dans les pièces testées (Source : Auteur)

Dans l'intention de vérifier l'effet de la paroi froide en hiver et l'effet de la paroi chaude en été sur l'ambiance interne et l'homogénéité de la température intérieure, une tentative de mesure des températures surfaciques intérieures et extérieures a été entreprise en premier lieu de l'investigation avec deux appareils différents. Le thermocouple qui est surtout utilisé en domaine d'électricité et la sonde filaire branchée au thermomètre émetteur de la centrale météo. Cette dernière est plutôt destinée à la mesure de la température d'un liquide (piscine, aquarium..). Mais la tentative a aussitôt été interrompue car les valeurs prises présentaient un grand écart entre la température de l'air ambiant intérieur et celle de l'extérieur. Ce qui est dû soit à la non fiabilité des appareils, soit à se qu'ils sont destinés à d'autres types de prises de températures. Donc ces températures ont été calculées à partir des formules déjà mentionnées en chapitre III (Voir annexe -IV-).

En fonction des résultats de l'analyse bioclimatique deux périodes ont été retenus pour l'investigation, celle d'été et celle d'hiver. Donc les relevés de température et d'humidité se sont déroulés pendant les mois les plus critiques de chaque période. Le mois d'août en été et le mois de janvier en hiver, pour une durée de quatre jours successifs chacun : (août 2005, janvier 2005).

V-4-2- Techniques de déroulement de mesures :

V-4-2-1* Cas du R.D.C : Période estivale :

Pendant la période de surchauffe la famille occupant le R.D.C, juste après le ménage vers 10h maintient toutes les fenêtres fermées (persiennes et vitres) et les rideaux tendus pour éviter la pénétration de chaleur. Excepté en cuisine les persiennes sont ouvertes et les rideaux dépourvus afin de permettre l'éclairage naturel. La vie estivale se déroule plutôt en cuisine (préparation du manger, vaisselle..), et surtout à la salle à manger (manger, regarder la télé…) qui constitue l'espace de vie le jour

La partie de la maison donnant sur la cour est plus utilisée que la partie donnant sur la rue. Du fait que celle-ci est orientée au nord est, et bien ventilée. Signalons que toutes les pièces demeurent occupées durant l'été mais avec un certain degré d'importance. D'autres part la quasi totalité des caves de l'immeuble sont aménagées, constituant pour certaines familles des espaces de vie durant l'été (prises de repas, faire la sieste..).

Les femmes habitant le R.D.C de l'immeuble se rendent toutes au sein de la cour l'après midi vers 16h (horaire de l'alimentation en potable) pour laver et tendre leur linge, tapis, couvertures, laine...ou tout autre travaux d'été. Car la cour, appelée « wast eddar » procure un espace bien adapté au mode de vie de la famille algérienne et offre la convivialité par les très bonnes relations entre voisins. A 17h, le sol à l'intérieur des maisons est aspergé d'eau ensuite essuyé. Ces travaux permettent l'humidification de l'air, et par conséquent le rafraîchissement de l'intérieur surtout avec la circulation de l'air dans l'espace découvert (la cour).

Vers 18h les fenêtres, persiennes et vitres donnant sur la cour sont grandes ouvertes pour permettre la ventilation et l'évacuation de la chaleur accumulée à l'intérieur. Les vitres donnant sur la rue sont aussi ouvertes, mais leurs persiennes demeurent fermées pour cause de l'intimité et de sécurité. Les femmes restent au sein de la cour bavardant et échangeant les opinions. Elles rentrent vers 21h pour prendre le dîner. Puis elles se rendent de nouveau à la cour pour y veiller le plus tard possible jusqu'à 23h, elles regagnent leurs maisons pour dormir. La cour constitue donc un espace de vie estivale l'après midi et le soir.

Tous les habitants de l'étage inférieur de l'immeuble se comporte de la même manière quand à l'usage des espaces. Aucune maison ne possède un climatiseur vu que l'intérieur est bien frais sans le recours à la climatisation. Le comportement de l'utilisateur vis à vis de l'espace manœuvre d'ouverture de fenêtres, porte pour des raisons de ventilation.

V-4-2-2* Cas de l'étage : Période estivale

De même que pour le R.D.C. Or les espaces de vie en étage sont le séjour donnant sur la cour le jour, et la terrasse l'après midi et le soir.

A savoir que la période de l'investigation s'est caractérisée par une vague de chaleur et de canicule, marquant une forte hausse de température à plus de 40°C.

V-4-2-3* Cas du R.D.C : Période hivernale

La vie des usagers durant l'hiver se déroule plutôt à l'intérieur des maisons. Surtout dans les chambres donnant sur la rue coté sud ouest. En revanche, en profitant de l'ensoleillement pendant la période froide, la cour est comme même utilisée durant les matinées. Tandis que l'espace le plus utilisé à l'intérieur est toujours la salle à manger, malgré qu'il est orienté nord-est. Vu qu'il est bien chauffé par le chauffage d'appoint. Ce dernier n'est mis en marche que vers midi, puisque les fenêtres étaient ouvertes pour les tâches ménagères, et il reste ainsi jusqu'à 22h pour être éteint à l'heure du coucher.

Durant le jour, après la ventilation matinale de 10h, le vitrage est maintenu fermé avec les persiennes partiellement ouvertes pour permettre l'éclairage et l'ensoleillement. Mais vers 17h les fenêtres sont refermées de nouveau.

V-4-2-4* Cas de l'étage : Période hivernale

Pareil que pour l'été, où l'espace de vie demeure le séjour le jour et le soir. Même qu'il soit orienté nord est, cet espace est bien chauffé par le chauffage d'appoint placé au sein du séjour même.

Cependant, les conditions climatiques durant les jours d'investigation sont exprimées par les bulletins météorologiques spéciaux (B.M.S) envoyés par les services de la protection civile de la ville de Guelma :

« *Probabilités du temps du mercredi 26 au 28/01/2005 Région nord*

Pour toute la période considérée stop temps froid et plus souvent nuageux à couvert sur les régions nord avec des pluies averses orageuses qui seront localement importantes et des chutes de neige par l'intermittence qu'atteindront des niveaux très bas à partir de 200m d'altitude parfois toucherons certaines villes côtières stop les hauteurs de neige dépasseront par endroit les 70 cm durant la période considérée stop les cumuls de pluies seront plus importants vers le centre et l'est stop Les vents seront de nord ouest à modérés à assez forts

(parfois fort ou par rafales) stop La mer sera agitée à forte stop les températures max accuseront une baisse très sensible entre 4 / 8° près des côtes et entre -3 / +3° sur les wilayas intérieurs stop chutes de grêles probables stop
BMS N°5 du 29/01/2005 à 12h

Des chutes de neige au dessus de 400m d'altitude affecteront les régions est et à partir de l'après midi du samedi 29 puis gagneront les régions centre en cours de nuit et les régions ouest la journée de demain dimanche 30 stop Wilayas stop Guelma stop Souk Ahras stop Constantine stop Validité du samedi 29/01/2005 à 15h au lundi 31/01/2005 à 00h stop»

V-4-2-5* Scénarios spécifiques aux pièces testées:

La pièce testée du R.D.C est de forme presque carrée, d'une surface de 15.30m² et d'un volume habitable de 56.61m³ (4.18 × 3.66 ×3.7). La paroi extérieure est de 13.54m². Le rapport de la surface de la paroi extérieure à la surface de la pièce est de 0.89. La pièce est dotée d'une chambre à coucher, d'un ordinateur, d'une imprimante, d'un scanner et d'un bureau. L'aménagement de la pièce est représenté dans la Photo-V-15-.

Le sol est dépourvu de tapis même en hiver. Les murs sont peints en blanc crème. La chambre possède une porte donnant sur le couloir et une fenêtre donnant sur la rue. La surface vitrée fait le 1/8 de la surface de la chambre. Pendant l'hiver la chaleur du chauffage à gaz placé dans le couloir est transmise par conduction à travers sa cloison et par renouvellement d'air si la porte est ouverte. Fig-V-17-. A signaler la médiocre étanchéité de la fenêtre (cadre), puisque elle n'est pas calfeutrée et son ossature est ancienne.

Cette chambre demeure inoccupée pendant le jour (de 8hà 16h30 : heures de travail). De 17h jusqu'à heure tard de la nuit, l'ordinateur est utilisé. Parfois la pièce est occupée pour le repos pendant la sieste. Sa porte se laisse généralement ouverte pour permettre toute ventilation en été et pénétration de chaleur en hiver. Mais pas durant les heures d'étude ou de lecture où celle-ci soit fermée.

Donc l'occupant, le meuble, l'éclairage, l'outil informatique, et le privé du renouvellement d'air de la pièce (en gardant la porte fermée) participent à l'élévation ou la régression de la température ambiante.

Photo-V-15- Aménagement de la pièce testée en R.D.C

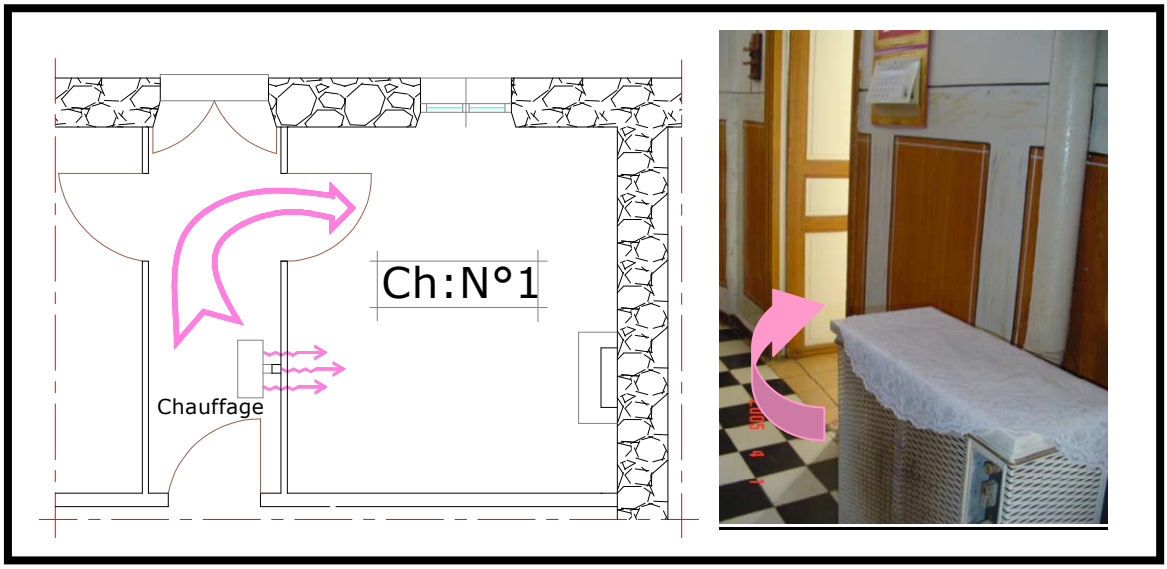


Fig-V-17- Transfert de chaleur par conduction à travers la paroi et par convection d'air par la porte (Source : Auteur).

La pièce testée en étage est de forme rectangulaire, d'une surface de 11.50m², et d'un volume habitable de 42.53m³ (4.18 × 2.75 ×3.7). La paroi extérieure est de 10.18m². Le rapport de la surface de la paroi extérieure à la surface de la pièce est de 0.89. La pièce est dotée de deux banquettes, le sol est couvert d'un tapis en hiver. Elle possède une porte donnant sur le séjour et une fenêtre donnant sur la rue. L'aménagement de la pièce est représenté par la Photo-V-16-.

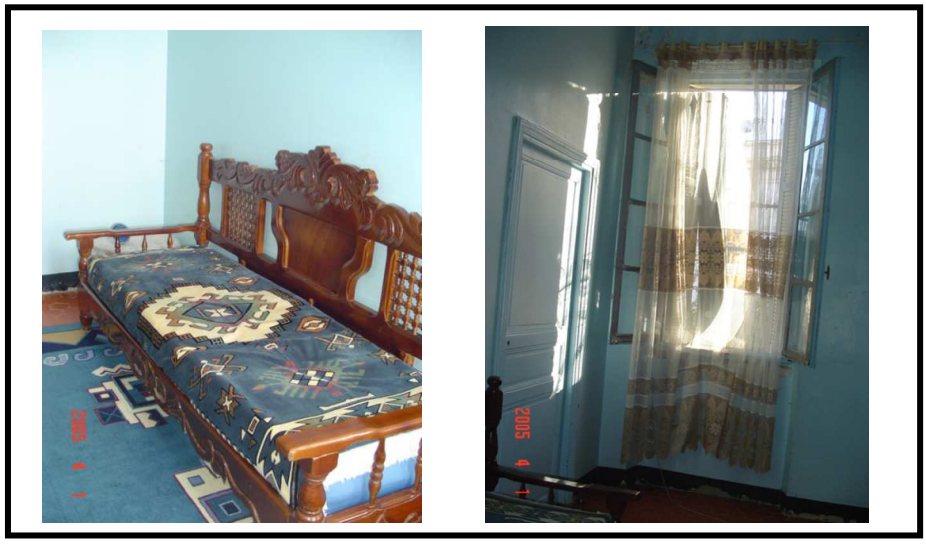


Photo-V-16- Aménagement de la pièce testée en étage.

En hiver la chaleur du chauffage à gaz placé en séjour est transmise par renouvellement d'air si la porte de la pièce est ouverte Fig-V-18-.

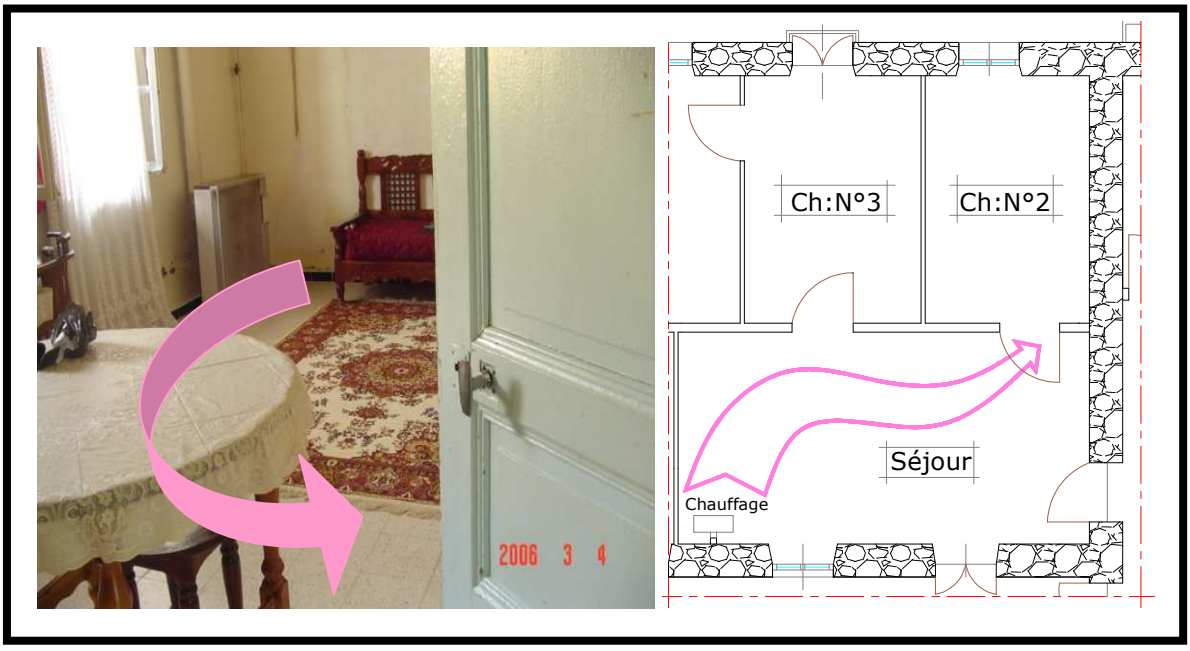


Fig-V-18- Transfert de chaleur par convection d'air par la porte (Source : Auteur)

V-5- Descriptif de la villa contemporaine :

La villa contemporaine choisie pour la comparaison de la consommation énergétique se diffère beaucoup des deux maisons de l'immeuble colonial. Non seulement du point de vue insertion urbaine et système constructif mais aussi du nombre d'ouvertures, le volume habité, le modèle d'occupation et le nombre d'occupants.

Mais l'étude s'est fixée un paramètre commun entre les deux échantillons autour duquel la comparaison a lieu, qui est l'orientation (sud ouest). Car ce dernier joue un rôle essentiel dans la performance thermique de toute construction.

La villa contemporaine s'insère dans un contexte urbain plus ou mois dense Fig-V-19-. Isolée dans sa parcelle, la villa dispose d'un jardin de diverses plantations comme la treille, le figuier, le rosier…. Photo-V-17-.
Le tableau si dessus présente sommairement les caractéristiques morpho technologiques de la villa.

Tableau -V-1- récapitulatif des caractéristiques de la villa contemporaine :

Caractéristiques morpho technologiques	**Contexte urbain**	**Système constructif**	**Plancher**	**Dalle**
	Plus au moins dense (lotissement)	Traditionnel (poteaux-poutres)	A corps creux (16+4) cm	Pleine de 10cm en béton armé
	Murs Extérieurs	**Cloisons**	**Toiture**	**Ouverture**
	30cm en parpaing (de 15, 10cm et la lame d'air de 5cm), enduit intérieur plâtre 2cm et enduit extérieur mortier de ciment 2cm	En parpaing de 15 et de 10cm	Terrasse accessible (mortier de ciment + carrelages)	Grandes Ossature en bois, vitrage simple et volets en bois

L'aménagement des espaces intérieurs diffère aussi de celle des maisons coloniales. Les différents plans, coupes et façades présentés en Fig-V-19-, Fig-V-20- Fig-V-21-, Fig-V-22-, et Fig-V-24- illustrent en bref toutes les données sur la villa contemporaine.

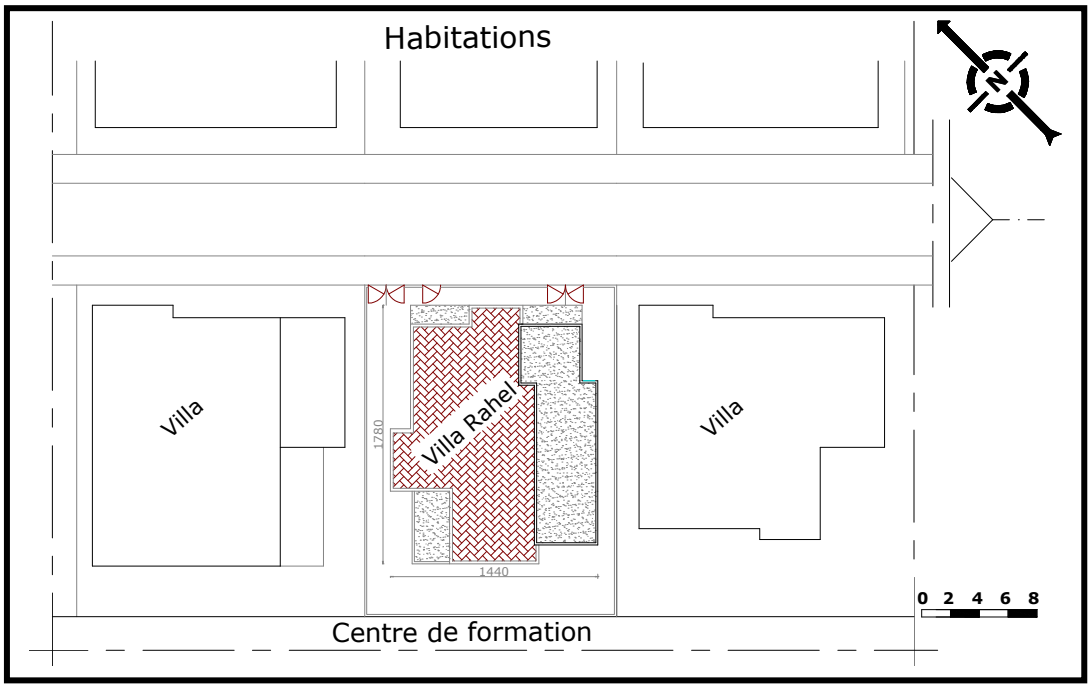


Fig-V-19- Situation et orientation de la villa (Source : Auteur).

Fig-V-20- Vue de face de la villa : nord-est (coté rue) (Source : Auteur).

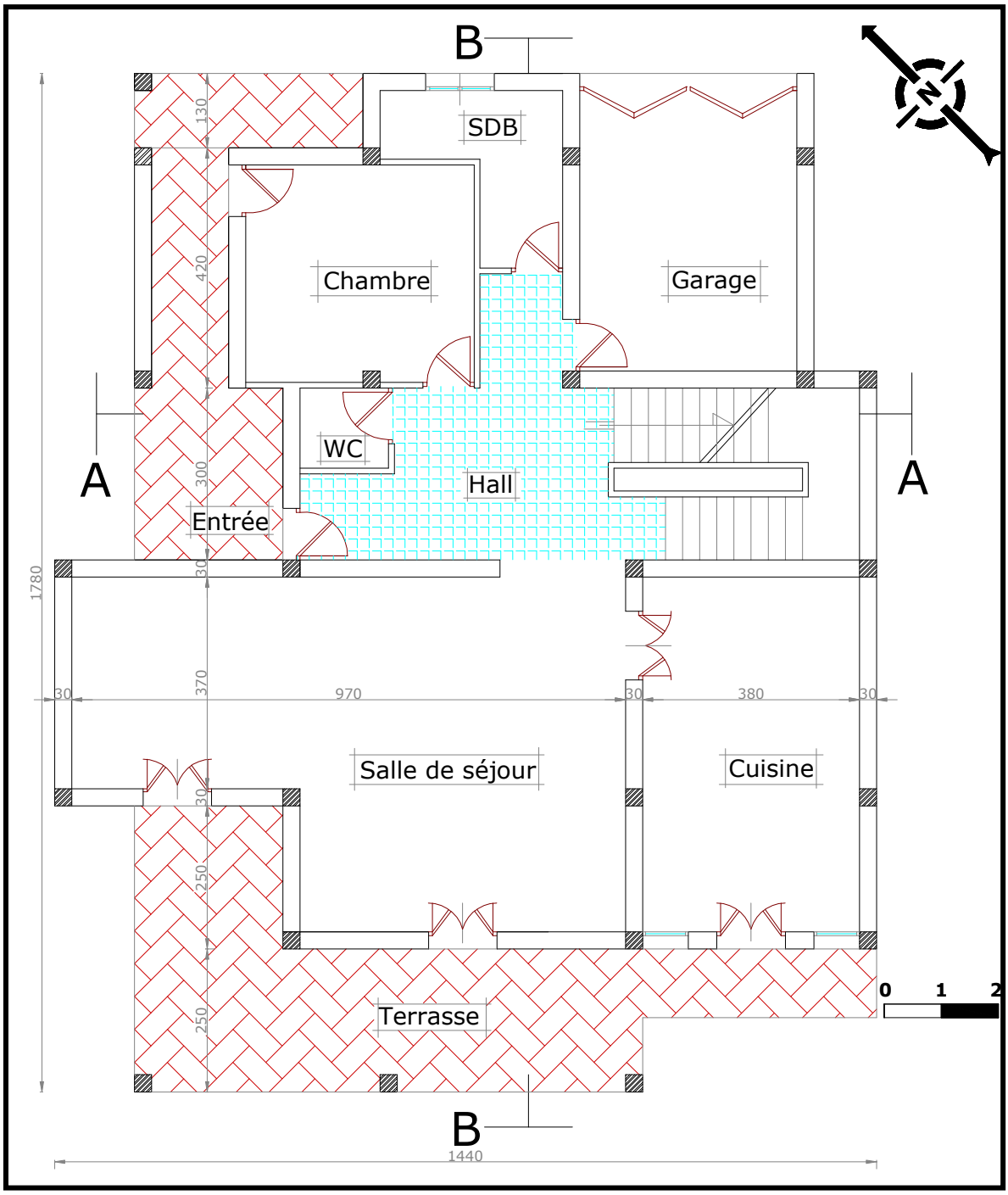


Fig-V-21- Plan R.D.C (Source: Auteur).

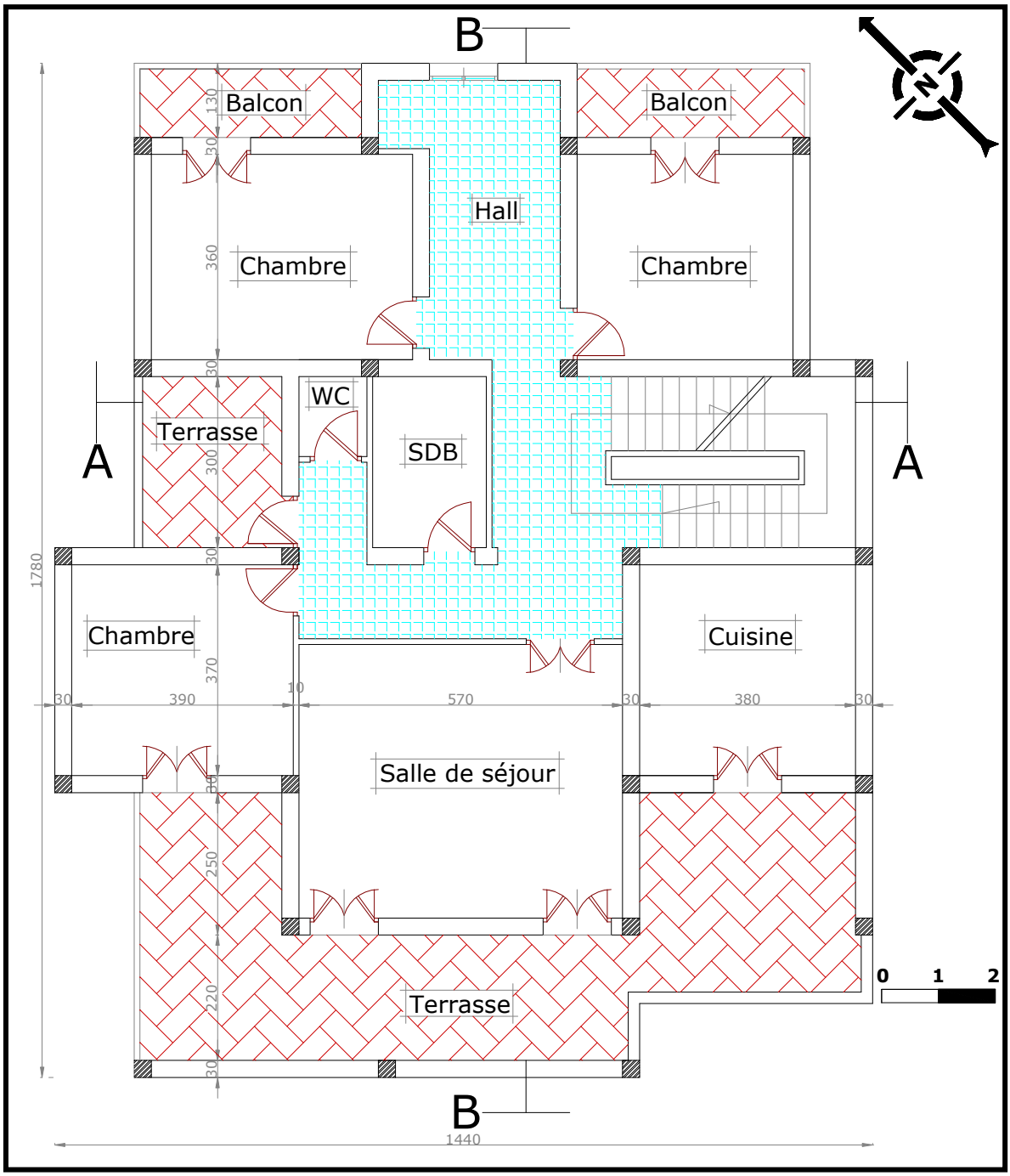


Fig-V-22- Plan étage (Source: Auteur).

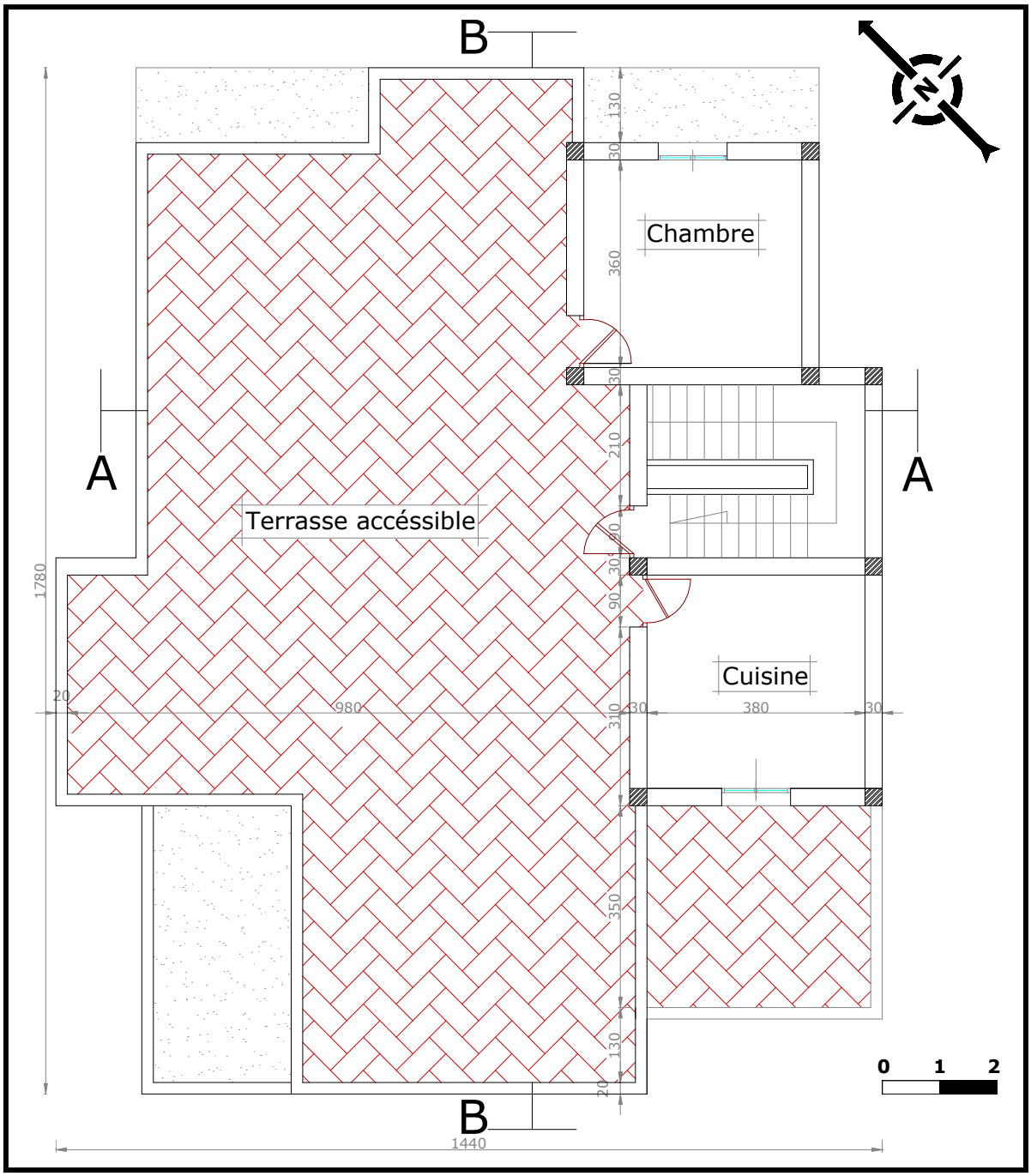


Fig-V-23- Plan terrasse (Source: Auteur).

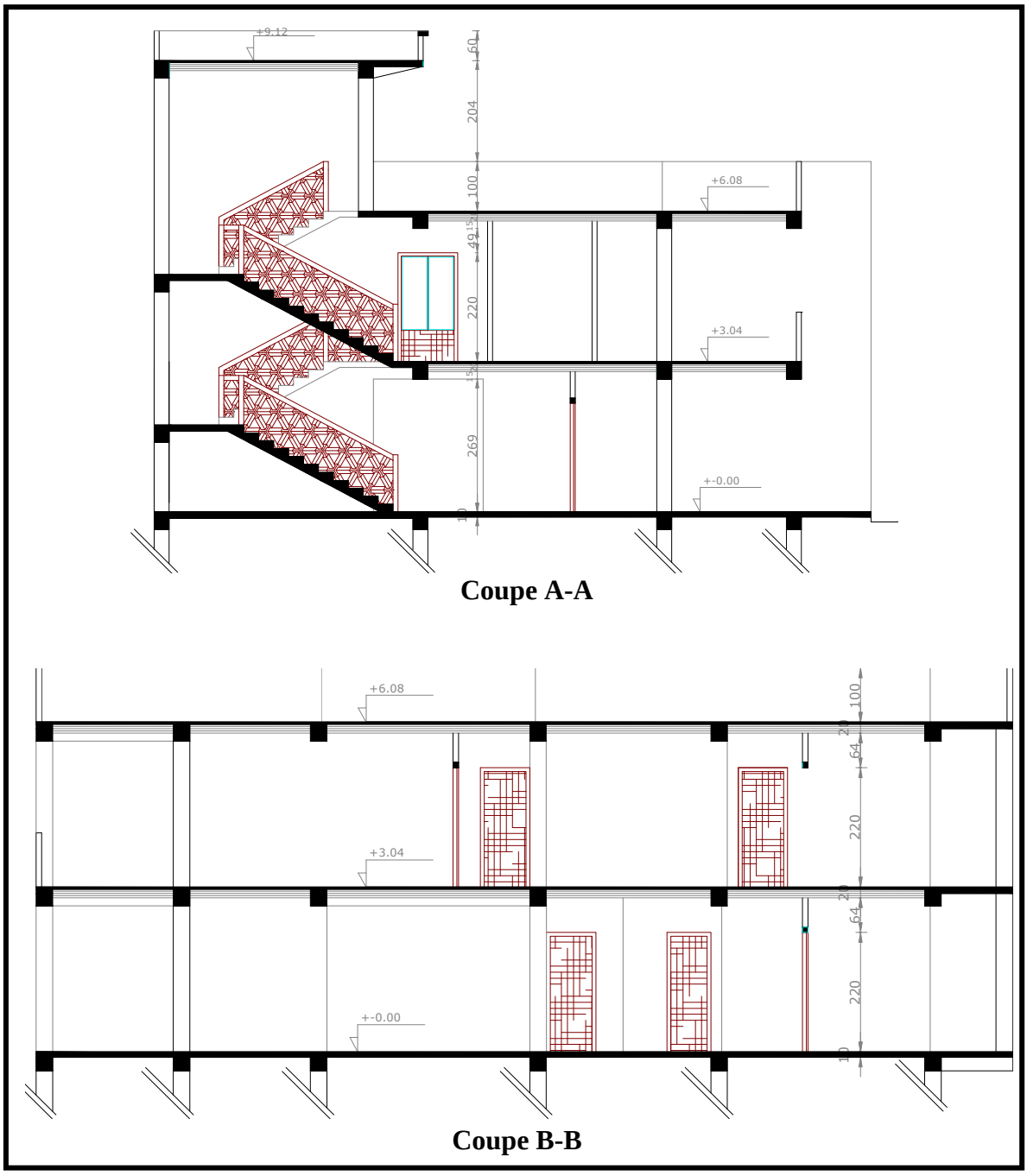


Fig-V-24- Coupes : transversale et longitudinale sur la villa (Source: Auteur).

V-6- Rappel des hypothèses :

V-6-1- Hypothèse principale:l'inertie thermique améliore le confort en hiver comme en été, et c'est aussi une source d'économie d'énergie.

V-6-2- Hypothèse secondaire: grâce à l'inertie thermique de son enveloppe, la maison de l'époque coloniale offre un environnement intérieur agréable et propice.

V-7- Evaluation :

Pour nous aider à confirmer ou à infirmer l'hypothèse suggérée, l'évaluation du comportement thermique de l'inertie sera établie en deux phases distinctes. La première concerne son rôle sur le confort hygrothermique estival et hivernal. La seconde insiste plutôt sur son impact sur la consommation énergétique.

La première évaluation sera débutée par l'interprétation des mesures de température et d'humidité indiquant la réponse thermique de chaque pièce de la maison de l'époque coloniale vis-à-vis des paramètres climatiques. En mettant l'accent sur le comportement de l'inertie de l'enveloppe: parois extérieures, toiture et parois intérieures. Ce ci est dans le but de constater les phénomènes qui génèrent l'inertie et leurs impacts sur le confort hygrothermique.

Pour bien définir les variations, ces prélèvements seront comparés d'une part aux données météorologiques recueillies auprès de la station de la ville les jours de l'investigation, et d'autre part à celles enregistrées dans l'espace extérieur immédiat (la rue).

Ensuite une étude comparative des écarts entre température intérieure et extérieure, et une interprétation des amplitudes de températures minimales et maximales intérieures et extérieures seront étudiées pour vérifier le rôle des inerties séquentielle et quotidienne.

En plus d'une étude détaillée des variations de la température, de l'humidité relative et des températures surfaciques intérieures et extérieures.

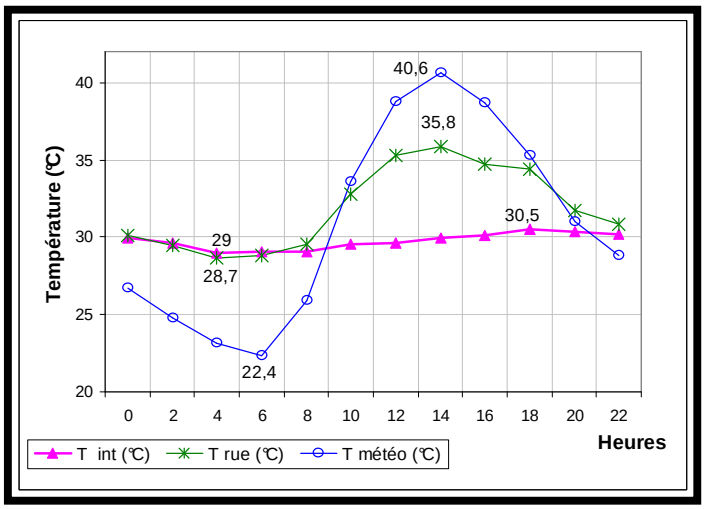
L'étude de variation des températures surfaciques sera élaborée dans le but d'évaluer l'effet de la paroi froide en hiver et l'effet de la paroi chaude en été. Surtout pour constater le gain thermique et déceler les facteurs externes et internes responsables du confort résultant.

En fin pour évaluer le degré de satisfaction des besoins de confort des usagers, une lecture comparative se fera avec les limites de confort et les températures neutres.

La seconde évaluation en revanche, s'établira avec la comparaison entre la consommation énergétique des deux maisons de l'immeuble colonial à celle de la villa contemporaine. Cette évaluation aura lieu essentiellement par l'étude des factures de gaz et de l'électricité.

Chapitre VI :

Interprétation des résultats de l'investigation



Introduction

L'évaluation et l'interprétation des résultats de l'investigation sur l'effet de l'inertie thermique, comme c'est déjà évoqué au chapitre précédent, porte sur deux phases distinctes. La première concerne son rôle sur le confort hygrothermique estival et hivernal. La seconde insiste plutôt sur son impact sur la consommation énergétique.

VI-1- Evaluation du rôle de l'inertie sur le confort hygrothermique:

VI-1-1- Interprétation des résultats : Période estivale en R.D.C:

VI-1-1-1* Etude comparative de la température moyenne intérieure et extérieure :

Comparée à la moyenne de la rue et la moyenne météo, la moyenne intérieure de la température de l'air présente les meilleures valeurs durant la journée et l'après midi Fig-VI-1- Elle oscille entre une valeur minimale de 29.6°C à10h et une valeur maximale de 30.5°C à 18h, soit une amplitude de 0.9°C. Alors que la température de la rue atteint son maximum de 35.8°C à 14h et son minimum de 32.8°C à 10h, soit une amplitude de 3°C. La courbe de sa variation se situe entre la courbe de la température intérieure et celle de la météo. Enfin la courbe de variation de la température météo enregistre les plus hautes valeurs durant cette période, où elle varie entre un maximum de 40.6°C à 14h et un minimum de 33.6°C à 10h, soit une amplitude de 7°C.

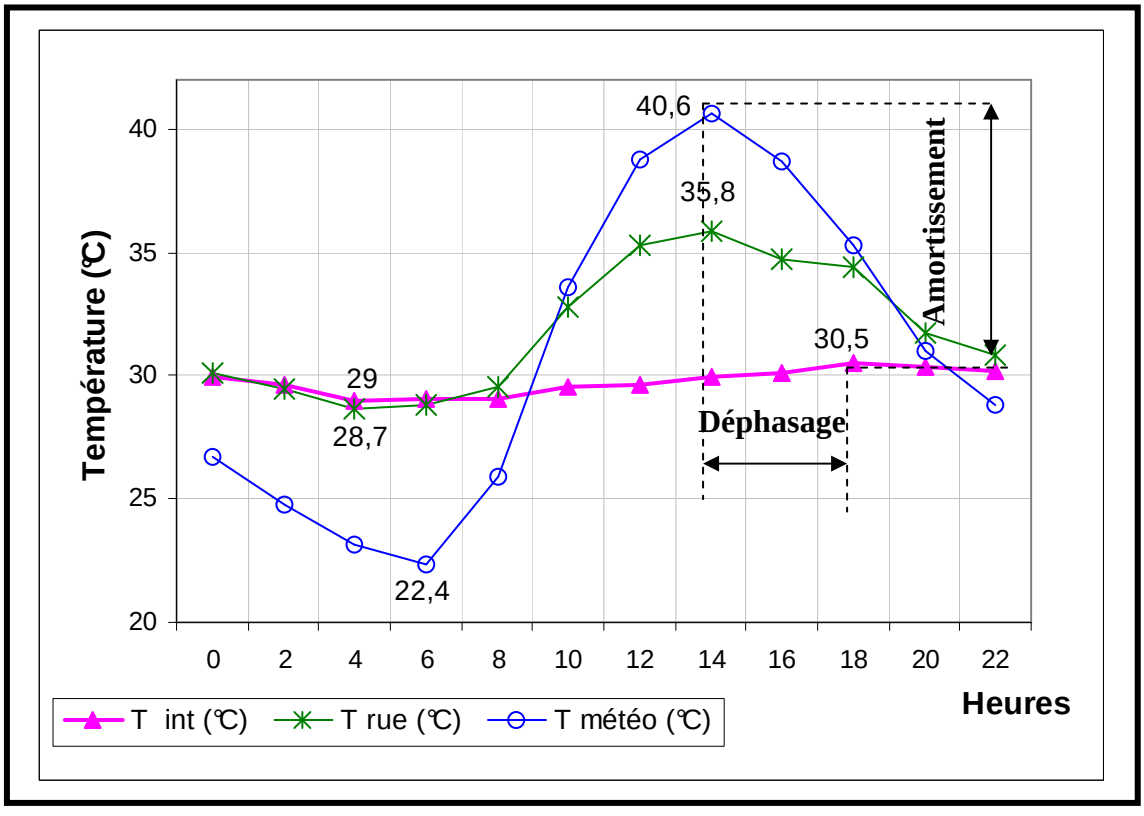


Fig-VI-1- Variation horaire de la température moyenne intérieure et extérieure: période été

Mais au-delà de cette période, la température moyenne à l'intérieur de la pièce dépasse celle de la météo. De 22h à 8h, l'amplitude maximale atteinte à 6h du matin est de 6.6°C. D'autre part en rapport avec celle de la rue, la température moyenne intérieure ne la dépasse que légèrement et uniquement de 2h à 6h avec une amplitude maximale de 0.3°C à 4h du matin. Cependant la lecture générale des oscillations de températures moyennes fait ressortir que celle de l'intérieur offre une stabilité durant tout le jour avec une faible amplitude de 1.5°C. Alors que la température météo et celle de la rue présentent des fortes amplitudes de 18.2°C et de 7.1°C. A noter que la température extérieure mesurée dans la rue est inférieure de 10à 18h à celle enregistrée par la station météorologique, mais elle est supérieure à celle-ci de 20h jusqu'à 8h du matin.

En fait la pièce étudiée est soumise en été à deux phénomènes météorologiques qui contribuent à son inconfort : D'une part à la variation de température jour/nuit avec une forte amplitude moyenne de15°C à Guelma d'après l'analyse climatique, où la chaleur pénètre à l'intérieur par le mur extérieur et par renouvellement d'air. D'autre part à la variation diurne du rayonnement solaire où son action se fait principalement par les apports solaires à travers le vitrage. La température et le rayonnement présentent des maximums situés près de la mi journée. Ils constituent des causes potentielles de très fortes surchauffes dans la deuxième partie de la journée. Surtout que l'orientation sud-ouest, la couleur sombre de la façade, l'absence total de masques environnementaux et occultations favorisent l'absorption de ces apports. Par ailleurs même s'ils ne sont pas aussi considérables, les apports internes des appareils électriques (ordinateur, imprimante, scanner..) et occupant, sont aussi responsables de l'accroissement de la température intérieure. Mais la bonne inertie thermique des parois a bien réduit ces apports du fait qu'elle les a étalé dans le temps (l'effet de déphasage) d'où la stabilité de la température intérieure durant la journée. Il s'agit donc d'une inertie par absorption, due à l'effusivité et à l'épaisseur du mur de 56 cm. (Voir chapitre -III-).

Il est couramment admis qu'une maison de murs épais en pierre joue sur le déphasage que sur l'amortissement puisque la pierre n'est pas un aussi bon isolant. Or ce qui a été découvert dans le cas de l'échantillon c'est que les apports ont été amortis, puisque le matériau a joué le rôle d'isolant. L'amortissement atteint est de 12.1 (rapport de l'amplitude de la variation de « te » sur l'amplitude de la variation de « ti »), avec une amplitude de 10.1°C entre la température intérieure et la température extérieure (météo).Ce qui est essentiellement dû aux nombreuses alvéoles du travertin et à ses qualités intrinsèques qui favorisent le pouvoir isolant de l'air, en ralentissant les mouvements de convection dans les

cavités. C'est étrange, mais cet effet nous rappelle un matériau récent la brique « monomur » par exemple : produit intéressant dans une démarche de qualité environnementale. Elle assure le confort d'été pris en compte par la RT2000 en France grâce à son réseau alvéolaire. La brique « monomur » offre des réponses très positives en terme d'inertie et de régulation thermique[1]. Surtout que l'étude expérimentale sur la conductivité thermique des briques du bâtiment, en incluant les trois modes de base du transfert de chaleur révèle que la porosité doit être augmentée en utilisant des cavités de petite taille pour obtenir une conductivité thermique efficace inférieure autant que possible.[2]

Par ailleurs les interstices entre les moellons et le vide laissé lors du montage de mur (lit par lit) constituent de leur part des isolants thermiques, simulant au rôle de la lame d'air dans la construction contemporaine. Selon B.Givoni une construction est jugée bien isolée si la variation de la température intérieure représente moins 10 à 20 % de l'amplitude extérieure. Ce ci est bien vérifié dans notre cas du fait que $\Delta ti = 1.5°C$ et $\Delta te = 18.2°C$: Δti présente moins de 10% de Δte.

En particulier les fluctuations de la température extérieure ont été écrasées et déphasées dans le temps. Du fait que la température extérieure maximale de 40.6°C atteint à 14h a était d'une part écrasée d'où la maximale intérieure uniquement de 30.5°, et déphasée après quatre heures de temps. Notant que durant les journées de canicule lorsque la chambre n'est pas constamment utilisée, la fenêtre est maintenue fermée même jusqu'à 21h. La température intérieure dans ce cas demeure inférieure à la température extérieure avec un déphasage atteint jusqu'à 07h. Le déphasage moyen atteint de 04h des journées d'investigation est dû surtout à l'ouverture de la fenêtre vers 18h pour profiter de l'éclairage. Aussi l'épaisseur du mur ne fait pas 56cm dans toute sa largeur à cause de la percée de la fenêtre et l'allège qui fait 30cm, dont ce ci influe légèrement Fig-VI-2-.

Donc l'inertie thermique dépend essentiellement des matériaux de construction utilisés. Elle contribue à atténuer les fluctuations de la température intérieure et elle évite les surchauffes. Elle permet donc le contrôle de l'amplitude entre températures internes et externes. Cette faculté de différer l'amplitude thermique, le mur la doit à deux propriétés intrinsèques du matériau (travertin): Propriétés de l'isolation et l'inertie, bien sur en rapport avec l'épaisseur importante du mur. Nous rejoignant avec ces premières constatations les résultats de recherche sur la forte inertie de: Croom 90, Izard 93, Ouahrani 93 et Lavigne 94.

[1] Les cahiers techniques du bâtiment N°245 Septembre 2004, p83.
[2] SÖYLEMEZ. M.Sait,_ *On the effective thermal conductivity of building bricks*, _ Building and Environment 34 (1999) pp 1-5.

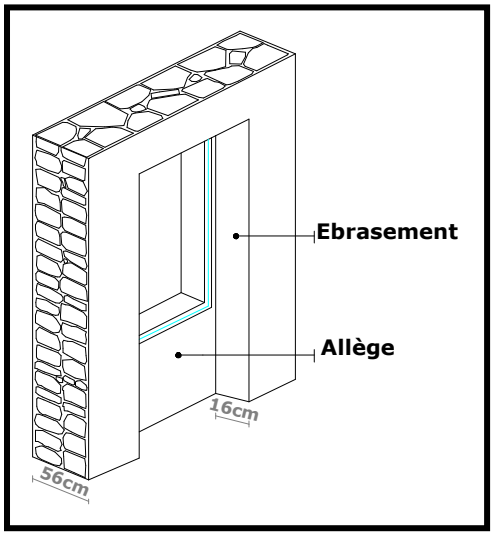


Fig-VI-2- L'épaisseur du mur extérieur (Source : Auteur)

A coté de l'inertie thermique du mur, d'autres paramètres participent à stabiliser la température à l'intérieur de la pièce. La cave exemple, constitue un espace bien frais durant l'été. Elle subit beaucoup moins les variations de température extérieure par le profit de l'inertie de la terre. Une recherche sur les serdabes (caves) des maisons traditionnelles irakiennes menée par A. Karaman et H.G. Egli en 1981 a démontré une différence de 5°C entre la température intérieure et la température extérieure et une augmentation de 10% de l'humidité relative. Donc la cave contribue de son coté au rafraîchissement du R.D.C. Puisqu'il s'agit de l'air chaud (chambre) au dessus de l'air froid (cave) où il résulte un flux ascendant avec une faible convection. L'air en contact se refroidit, s'alourdit et reste bloqué au sol. Signalons que dans un bâtiment du Comité International de la Croix rouge à Genève (concepteur Elio Maracacci), la climatisation a pu être évitée dans les bureaux en tirant parti de la fraîcheur du sous-sol, et grâce à des stores placés sur la toiture [3]

De plus les matériaux situés à l'intérieur tel que les planchers, les cloisons et même les meubles agissent sur les températures intérieures. Ce-ci en introduisant une inertie par absorption qui réduit les oscillations de la température considérée.[4]

Outre, la hauteur importante sous plafond (3.7m) permet de larges surfaces effusives des cloisons intérieures qui garantissent sûr cette inertie par absorption. E.Shaviv 1984, Ben Habib et al 1994 et Brejon et al 1994 ont confirmé l'importance de larges surfaces effusives à l'intérieur, dont l'inertie par absorption réduit la variation de la température intérieure.

[3] PEUPORTIER. Bruno, __ *Eco conception des bâtiments Bâtir en préservant l'environnement*, __ Paris: Les presses de l'école des mines, 2003, p123.
[4] BENNADJI. Amar,__ *Adaptation climatique ou culturelle en zones arides Cas du Sud -Est algérien*, _Thèse de doctorat, __ Université AIXE MARSEILLE 1, 1999, p 19.

Aussi l'insertion de l'immeuble dans un tissu compact « *génère une masse thermique importante qui participera à atténuer les conditions climatiques extrêmes*.»[5]

En revanche, durant la nuit (de 22h à 6h) la température intérieure dépasse celle de la météo. Ce qui s'explique que sous l'effet du rayonnement le jour, la paroi se met à stocker la chaleur par le biais de l'inertie d'absorption du mur. La température à l'intérieure tend à être inférieure à celle de l'extérieur pendant 11 heures (de 9h jusqu'à 20h le soir). Mais au delà il se produit un gain après la dissipation de la chaleur. Surtout qu'à certaine profondeur du mur la température absorbée augmente de manière inversement proportionnelle à la diffusivité. Donc une inertie par transmission se produit et qui augmente au fur et à mesure avec l'épaisseur et diminue avec la diffusivité du mur (Voir Chapitre -III-).

Bien que des déperditions par convection s'occasionnent suite au renouvellement d'air à travers la porte (si elle est ouverte), et à travers les jours des persiennes Fig-VI-3-font baisser la température intérieure de minuit à 6h. Givoni en 1981 a affirmé que si on ouvre grand le soir on évacue l'air chaud et en même temps en rafraîchit la structure par effet de convection. Y. Mukhtar en 1976 a confirmé l'efficacité de la ventilation nocturne dans l'amélioration des températures de surface internes du toit.

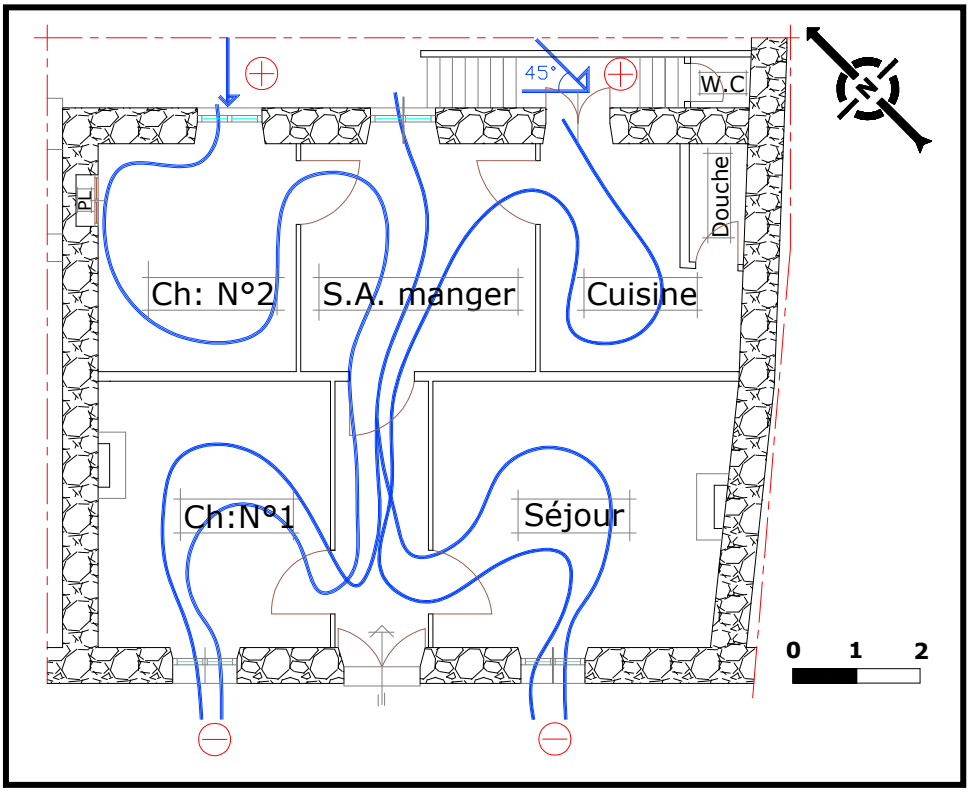


Fig-VI-3- Schéma de ventilation du R.D.C (Source : Auteur).

[5] ABDOU. Saliha, __ *Investigation sur l'intégration climatique dans l'habitation traditionnelle en régions arides et semi arides d'Algérie: Cas du Ksar de Ouargla et de la médina de Constantine*, __ Thèse de doctorat Université de Constantine, 2 004, p14.

Alors l'inertie thermique doit être associée à une ventilation nocturne considérable pour évacuer la chaleur dissipée à l'intérieur. De plus, avec la compensation entre gains et pertes, la température intérieure demeure constante. Rejoignant par cette révélation l'avis de plusieurs chercheurs sur l'effet de la ventilation nocturne comme Van der Maas et al 1994, Santamouris et Asimakopoulos, 1996, Balaras,1996, Shaviv à al, 2001 et Goulart, 2004 (Voir chapitre -III- et chapitre -IV-).

Concernant la différence entre la température extérieure de la rue et celle de la météo est expliquée par l'effet du micro climat local.

Pour vérifier les résultats précédents, une journée type du 19/08/2004 a été prise pour son caractère extrême Fig-VI-4-. Celle-ci affirme encore mieux les constatations d'auparavant. Vu que l'amortissement atteint est de 13.84, pour une amplitude de 12.7°C entre la température intérieure et la température extérieure (météo) et un déphasage de 4h. Permettant ainsi une stabilité de la température intérieure durant tout le jour avec une faible amplitude de 1.3°C. A l'encontre de la température météo qui présente une forte amplitude de 18°C et celle de la rue avec une amplitude aussi importante de 7.1°C

Ainsi on peut déduire que la pièce analysée ne subit pas directement les fluctuations de la température extérieure grâce à l'inertie thermique de sa paroi.

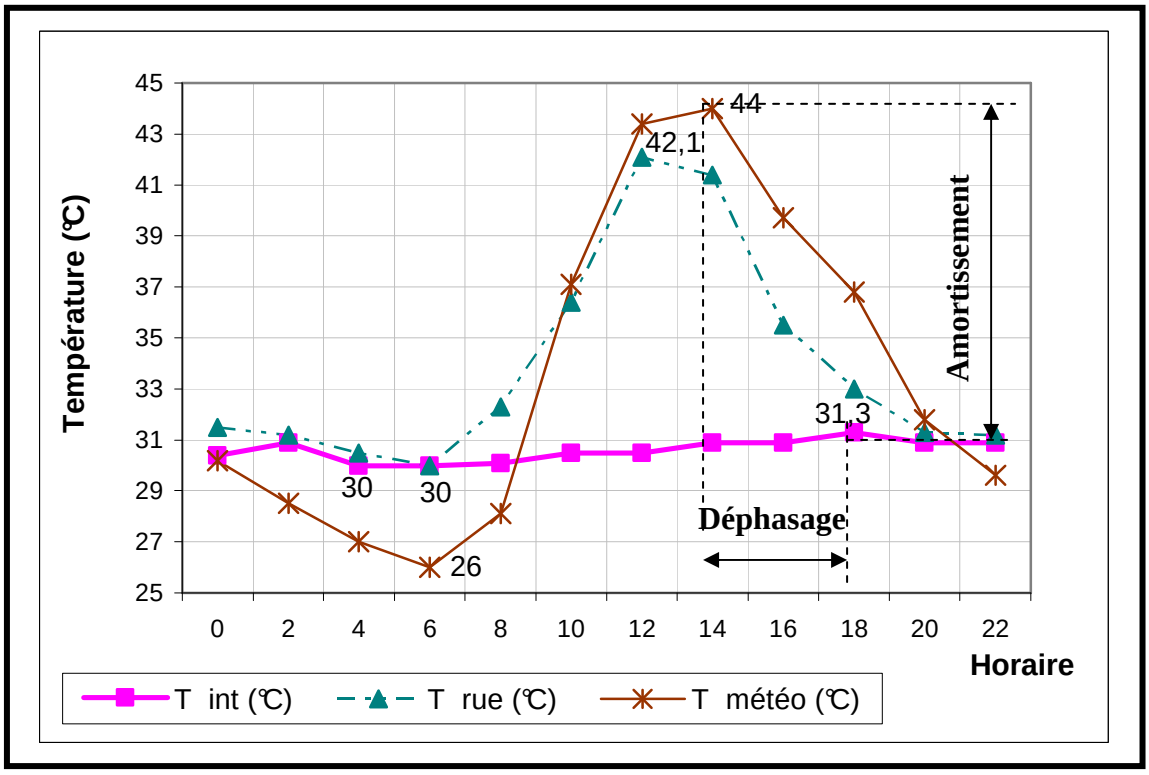


Fig-VI-4- Variation horaire de la température intérieure et extérieure de la journée type du 19/08/2004

VI-1-1-2* Etude des températures moyennes surfaciques internes et externes:

La température de l'air et celle de la surface externe de la paroi sont liées par le processus de rayonnement. L'émission et l'absorption du rayonnement jouent un rôle très important dans les échanges énergétiques qui se produisent à la surface extérieure des parois. Le graphe de la Fig-VI-5- montre clairement l'influence de l'orientation sud ouest, la couleur sombre, et l'absence d'occultation sur la hausse de la température de surface externe. Celle ci augmente au fur et à mesure en fonction du degré d'exposition de la façade aux radiations solaires. Elle enregistre les plus hautes valeurs l'après midi avec un maximum de 72.1°C atteint à 14h (Voir annexe -IV-). Dépassant ainsi la température de l'air extérieur au niveau de la rue, qui est seulement de 35.8°C.

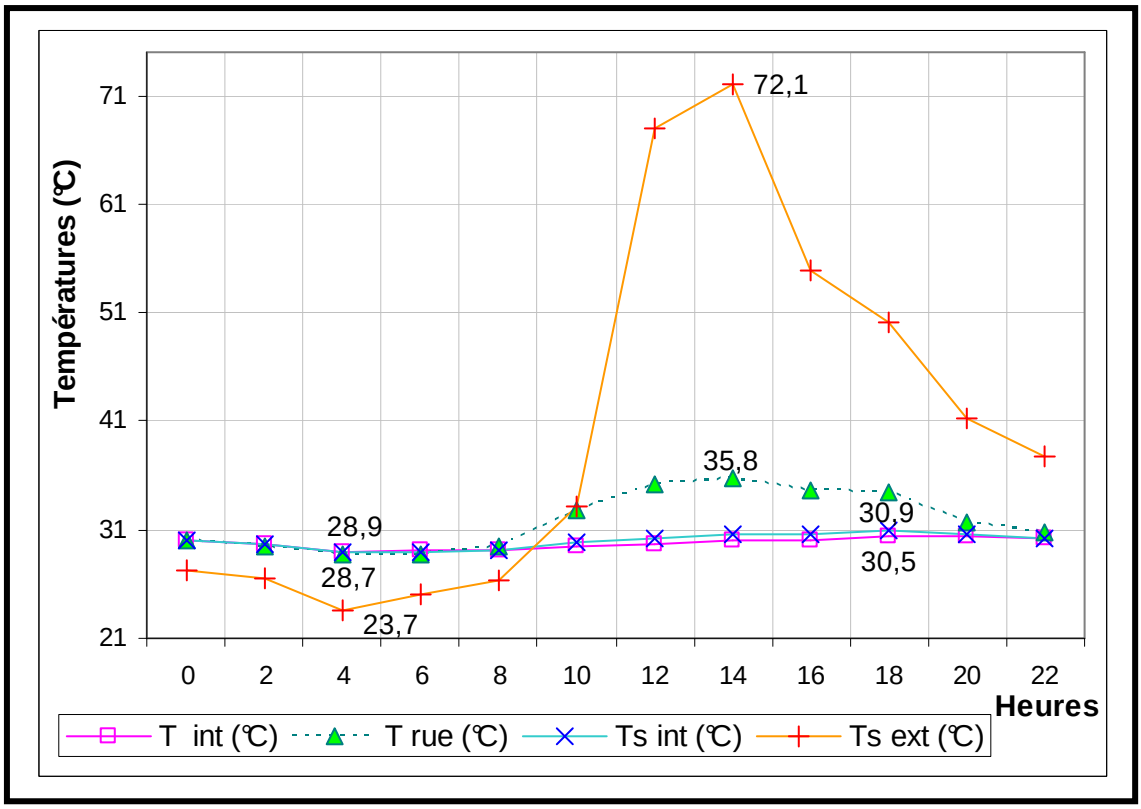


Fig-VI-5- Variation de température moyenne intérieure et extérieure et la température moyenne surfacique interne et surfacique externe du mur (56cm) : période été

Ce ci fait comprendre qu'il s'agit essentiellement de l'absorption du rayonnement direct de courte longueur d'onde issu du soleil et du rayonnement diffus provenant du ciel. D'où un maximum d'apports énergétiques calculé de 110w à 14h (Voir annexe -IV-)

Il s'agit aussi de l'absorption de l'irradiation à grande longueur d'onde, incluant le rayonnement incident provenant de la chaussée asphaltée et les maisons de l'autre bout de la voie. Dépendant bien sûr de la couleur sombre de celles-ci et de leur proximité.

L'effet de la végétation (jardin du trésor) n'est pas négligeable au niveau de la rue en favorisant la convection, et par conséquent l'atténuation de la température de l'air extérieur.

Quant à la fluctuation de la température intérieure, elle subit directement la variation de la température surfacique interne vu que la paroi échange la chaleur accumulée avec l'ambiance interne. La maximale intérieure enregistrée de 30.5°C est presque égale à celle de la surface interne de 30.9°C à 18h. Marquant un décalage horaire entre le moment où la température de la paroi extérieure est maximale (72.1°C à14h) et le moment où le flux d'apport calorifique pénétrant dans la pièce est maximal (110w). Ces apports sont aussi amortis d'un maximum de 41.2°C (entre 72.1°C à 14h de Tse et 30.9 de Tsi à 18h)

En fait le transfert de chaleur trouve son origine dans les écarts de température, qui est obtenu chaque fois qu'un gradient thermique existera au sein de la paroi. L'écoulement de l'onde thermique par conduction à travers le mur s'est affronté par les résistances thermiques. Celles ci dépendent principalement de la conductivité et l'épaisseur de chaque composant, qui lui confère des propriétés d'amortissement plus favorables Fig-VI-6-. Exemple un lit de moellons en travertin assure une résistance de 0.27m²°C/W, d'où une résistance totale de 0.76m²°C/W et un coefficient de transmission K de1.07 W/m°C. (Voir annexe -IV-).

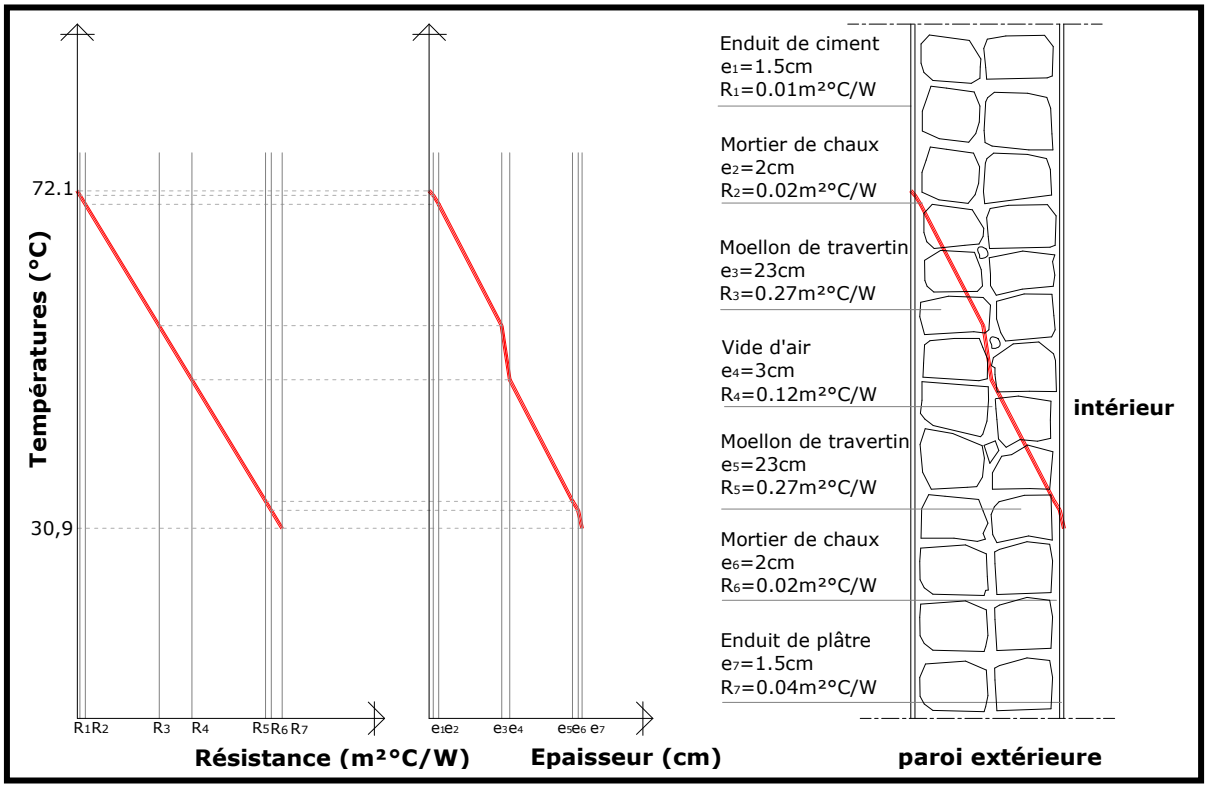


Fig-VI-6- Tracé du gradient thermique au niveau de la paroi extérieure (56cm)

(Source : Auteur)

Les surfaces internes et externes de la paroi s'opposent elles aussi au passage du flux de chaleur du milieu gazeux au milieu solide, puis du milieu solide au milieu gazeux. Ce qui se produit par le mécanisme de convection. Les surfaces internes et externes présentent des résistances superficielles en fonction des propriétés de convection (1/hi et 1/he).

En outre, la surface polie et la couleur blanc crème des parois intérieures favorisent une absorption moyenne du rayonnement direct de la paroi extérieure avec un coefficient prés de 0.3 à 0.5 et une lumière réfléchie de 74%. [6]

Le rapprochement de la température surfacique interne de la paroi à celle de l'air intérieur de la pièce affirme qu'il n' y a pas l'effet de la paroi chaude. Mais ce-ci n'est pas vérifié sur toute sa largeur. Car au niveau de l'allège de la fenêtre où l'épaisseur du mur fait 30cm au lieu de 56cm et la pierre dure taillée au lieu du travertin, la température surfacique interne enregistre 31.7°C dépassant celle de l'air de 1.2°C à 18h. La température de surface externe de 58°C dépasse celle de l'air externe de 22.2°C à 14h Fig-VI-7- mais qui est bien inférieure à celle où le mur fait 56cm (72.1°C) à cause de la couleur plus sombre du crépissage. Notant que le coefficient de transmission au niveau de l'allège K= 2.73 W/m°C.

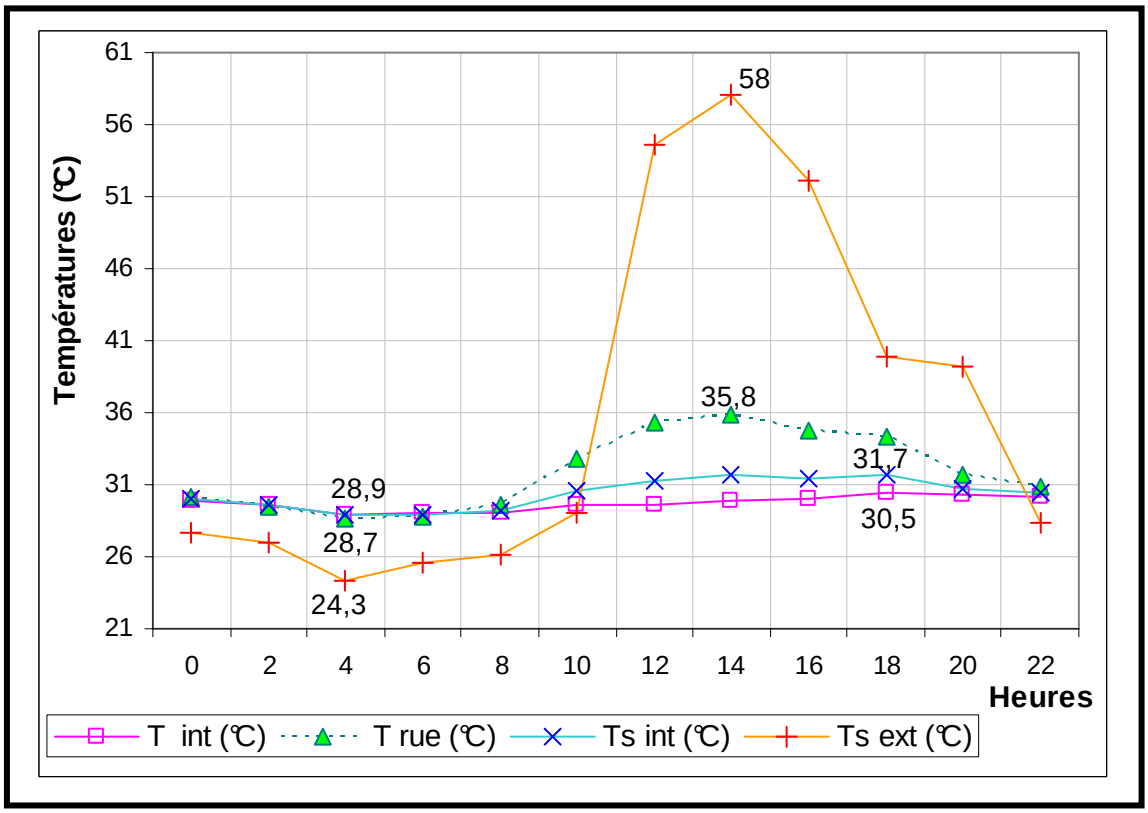


Fig-VI-7- Variation de température moyenne intérieure et extérieure, et moyenne surfacique interne et externe au niveau de l'allège (40cm) : période été

[6] Centre de recherche en architecture et en urbanisme CRAU El Harrach. En collaboration avec l'université des nations unies UNU, __ *Village solaire intégré*, __ Edition OPU 1988, p 248.

Donc on peut déduire que la température maximale de la surface extérieure de la paroi dépend essentiellement de sa couleur, de son orientation et de son degré d'exposition aux radiations solaires. La couleur et la proximité de surfaces avoisinantes ont également un effet sensible sur la température de la surface considérée. En revanche la température de surface interne de la paroi est surtout liée à la qualité thermique du matériau utilisé. Ces résultats sont en accord avec ceux de Taha, Akbari, Rosenfeld, Huang, 1998 et J Cheng, Givoni, Araujo Prado, Ferreira, 2005 (Voir leurs recherches dans le chapitre- IV-).

VI-1-1-3* Etude de l'écart de température moyenne intérieure et extérieure:

Selon A. Bennadji la soustraction des températures moyennes extérieures (météo) à celles des températures moyennes intérieures permet d'apprécier l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur. Car le confort intérieur est plus ressenti lorsque cet écart s'éloigne du zéro en valeurs négatives. L'analyse du graphe de la Fig-VI-8- montre le comportement très positif de la pièce durant douze heures de 10h à 20h avec un écart négatif maximum de 10.7°C enregistré à 14h, l'heure où la température extérieure est la plus élevée. Bien sur cela s'explique par l'effet de l'inertie avec l'effet de la masse, l'épaisseur importante et la bonne capacité thermique du matériau. Permettant un maximum stockage de la chaleur, une longue durée de déphasage et l'atténuation de la température par l'effet d'isolation du travertin.

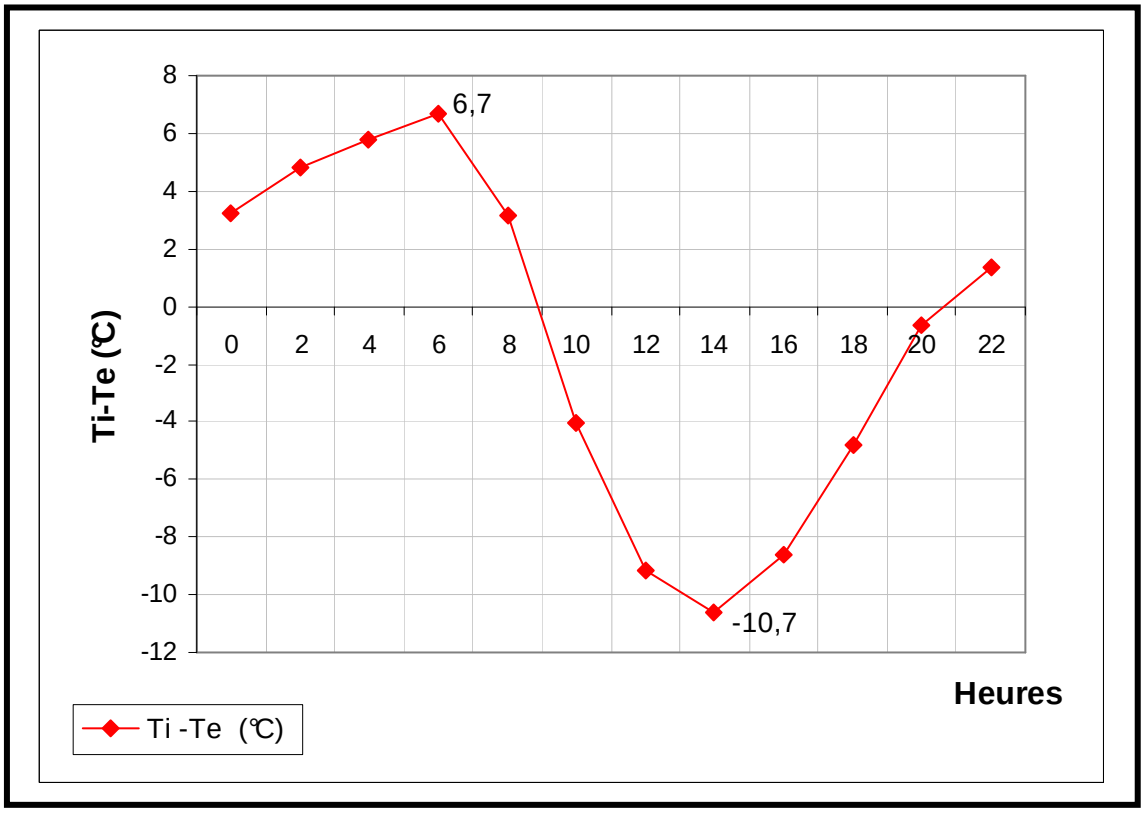


Fig-VI-8- Ecart de températures moyennes horaires intérieures et extérieures: période été.

De 20 à 22h l'écart devient positif mais avec un apport faible ce qui est dû au commencement de la dissipation de la chaleur stockée vers l'intérieur. De minuit à 10h l'écart positif augmente et marque un maximum de 6.7°C à 6h du matin, exprimant un apport énergétique supplémentaire non évacué. Donc un manque de ventilation dans la pièce à cette heure, surtout que la porte à l'heure de lever du jour se ferme et la toile opaque au niveau de la fenêtre se tende, afin d'éviter l'éclairement intense du matin.

VI-1-1-4* Etude des températures moyennes maximales, minimales intérieures et extérieures :

Comme c'est indiqué dans la Fig-VI-9- la marge des températures intérieures maximales et minimales est située au milieu de l'amplitude des températures extérieures maximales et minimales. Même si l'amplitude des températures extérieures est importante celle de l'intérieur demeure très réduite. La fluctuation de la température extérieure n'a pas une conséquence directe sur celle de l'intérieur. Cette dernière évolue régulièrement et d'une façon très uniforme. Ce qui se traduit par l'effet de l'inertie quotidienne et par celui de l'inertie séquentielle. L'inertie quotidienne marque le déphasage et l'amortissement de l'onde thermique. D'où l'atténuation quotidienne des températures maximales, mais l'augmentation des minimales suite à la dissipation de la chaleur par la structure interne et les meubles vers l'intérieur durant la nuit.

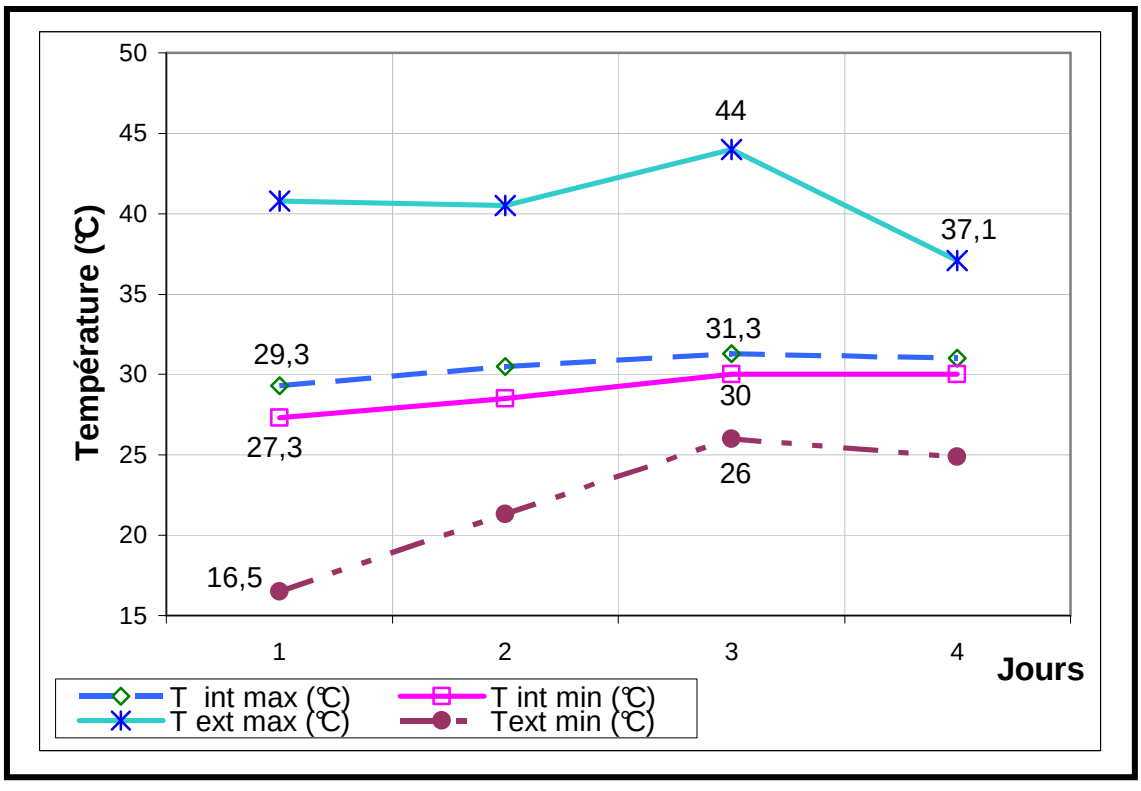


Fig-VI-9- Variation des températures moyennes maximales, minimales intérieures et extérieures des jours d'investigation: période été

L'inertie séquentielle de sa part assure l'atténuation de la température maximale en profitant des jours frais qui ont précédé la séquence chaude.

On déduit donc qu'en été l'inertie réduit l'écart entre les températures maximales et minimales intérieures. Elle écrase les températures maximales surtout le jour vu que le climat de Guelma est caractérisé par des moyennes et maximales élevées. En revanche l'inertie pendant la nuit relève légèrement les températures minimales. Ces résultats viennent confirmer ceux de l'A.F.M.E 1988 et de Cheng, Givoni 2005 (Voir chapitre -IV-).

VI-1-1-5* Etude de l'humidité moyenne intérieure et extérieure :

D'après la lecture des histogrammes de la Fig-VI-10-, le taux de l'humidité à l'intérieur de la pièce est relativement stable avec un écart seulement de 3.75% entre sa valeur maximale et sa valeur minimale. Comparée à celui de l'extérieur (météo) de 45.25% et celui de la rue de 14.25%. Le maximum intérieur de 48.5% est atteint à 16h sous l'effet de l'humidité générée par les tâches ménagères. Celles-ci se pratiquent généralement l'après midi en été, dont on utilise beaucoup d'eau pour asperger le parterre. Le maximum de l'humidité extérieur de 69.75 % et celui de la rue de 47.75% sont atteints à 6h et à 2h du matin, quand la température de l'air est basse.

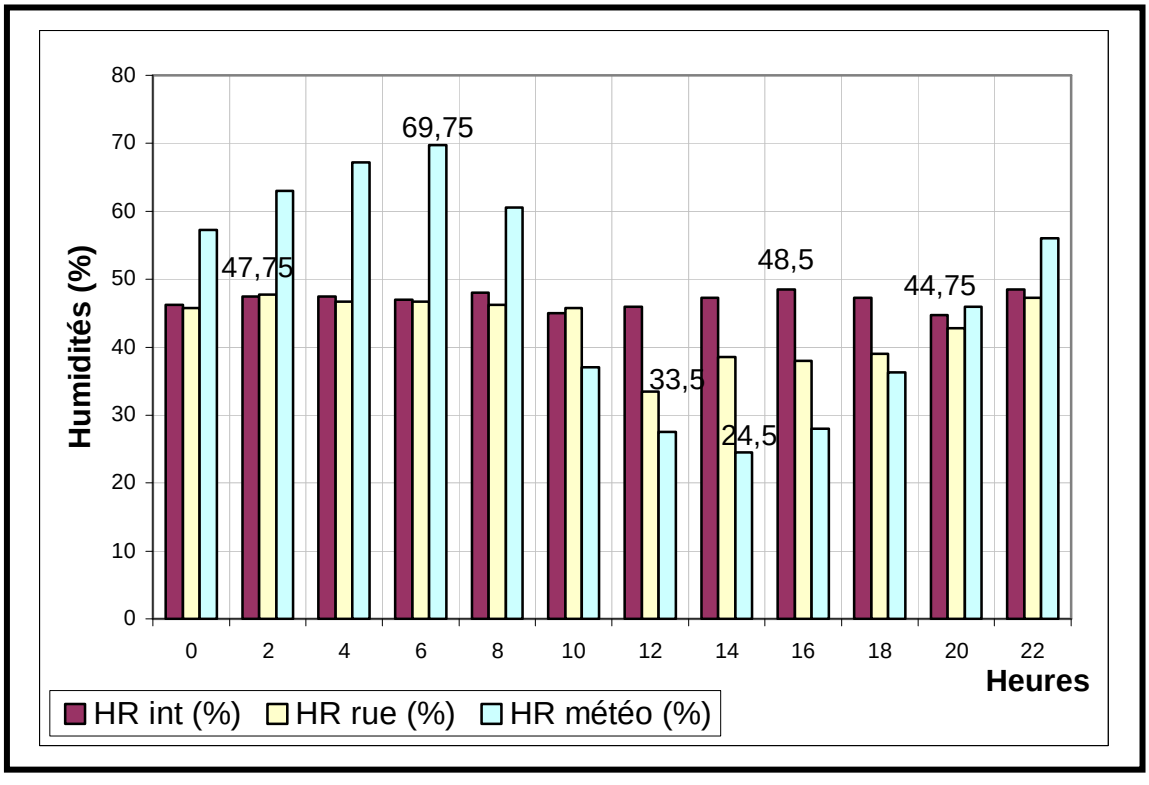


Fig-VI-10- Variation de l'humidité relative moyenne intérieure et extérieure: période été.

Millet et Nicolas en 1991 reconnaissent que l'humidité de l'air intérieur est fonction de l'humidité extérieure, du taux de renouvellement d'air et de la production de vie par le métabolisme humain ou des activités domestiques. Dans notre cas l'humidité intérieure ne suit pas la variation de celle de l'extérieur. D'une part il y a une faible production métabolique due à la mono occupation de la pièce, surtout la nuit. D'autre part l'effet de la ventilation matinale contribue à la siccité de l'air, et celui de la ventilation nocturne participe plutôt à son augmentation. Mais c'est surtout l'effet imposant de la paroi avec la pierre utilisée qui permet le maintien de l'équilibre hygrométrique, en évitant les variations de l'humidité relative de l'air ambiant. En plus de ses propriétés thermiques, la pierre avec ses propriétés hygrométriques de l'absorption et la désorption de la vapeur d'eau contenue dans l'ambiance, permet de réguler les conditions intérieures. Assurant donc le confort hygrométrique intérieur. Ce résultat rejoint celui de Ben Habib, Ait Mokhtar et Allard. Mais au lieu de la pierre, le matériau utilisé est l'adobe amélioré en laboratoire. [7]

VI-1-1-6* Evaluation du confort thermique :

Pour l'évaluation du confort à l'intérieur, une comparaison de la température intérieure avec les limites de confort, calculées de la température neutre Tn d'Auliciems de 28.6°C ; avec une limite inférieure de 26.6°C et une limite supérieure de 30.6° C Fig-VI-11-.

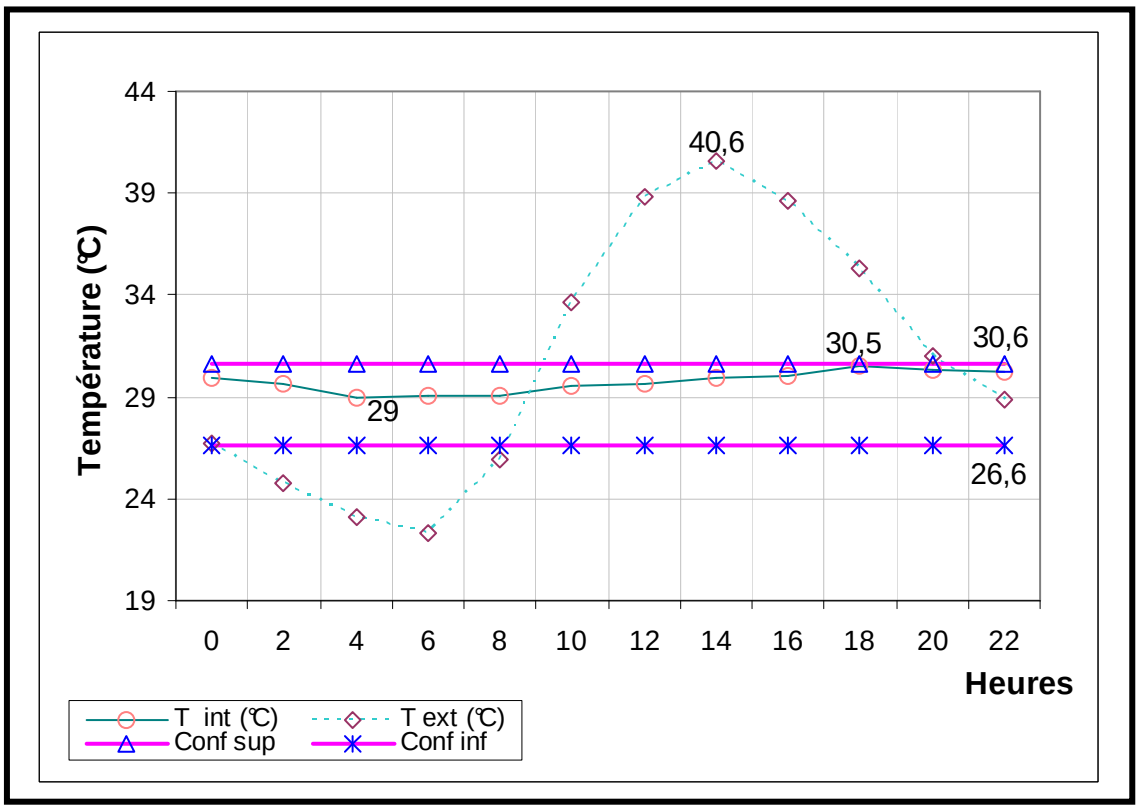


Fig-VI-11- Comparaison de la température moyenne intérieure et les limites de confort.

[7] BEN HABIB, AIT MOKHTAR et ALLARD, _ *Analyse bioclimatique de l'habitat traditionnel des régions désertiques nord sahariennes*, _ Rapport d'étude,Université de la Rochelle et l'institut USTO d'ORAN,1995.

La courbe de la température moyenne intérieure se situe à l'intérieur de la zone de confort entre les deux limites. Marquant un écart maximum de 3.9°C à 18h avec la limite inférieure, et un écart maximum seulement de 1.6°C à 4h du matin avec la limite supérieure. La température intérieure se rapproche plus de la limite supérieure que de la limite inférieure.

La pièce est donc jugée confortable d'après ces limites de confort durant le jour, et elle est à la limite supérieure de 18h à minuit à cause de la dissipation de la chaleur emmagasinée par la masse le soir. Bien que cette dernière sera évacuée après par le profit de la ventilation nocturne, permettant à la température moyenne intérieure de demeurer inférieure à celle de l'extérieur.

En plus les appréciations subjectives des occupants de l'immeuble révèlent la bonne sensation du confort hygrothermique. Causée d'une part par la performance thermique de l'enveloppe et d'autre part par l'effet de l'acclimatation ou d'accoutumance. Principalement que l'immeuble ou la maison testée est occupée depuis 1930 par les descendants de la même famille, où l'espace intérieur présente pour elle le plus confortable qu'il soit surtout le jour.

Aussi la cour de l'immeuble qui est très utilisée en été le soir offre non seulement la fraîcheur mais tout l'épanouissement social.

VI-1-2- Interprétation des résultats : Période estivale en étage:

VI-1-2-1* Etude comparative de la température moyenne intérieure et extérieure:

La température moyenne intérieure de la pièce en étage oscille entre une valeur minimale de 28.6°C à 4h et une valeur maximale de 30.7°C à 20h. Soit une amplitude de 2.1°C. Alors que la température de la rue et la température météo enregistrent leur maximum à 14h de 35.8°C et 40.6°C et leur minimum de 28.7°C à 4h et 22.4°C à 6h.
De minuit à 8h la température moyenne intérieure dépasse celle de la météo, avec un écart maximum enregistré à 6h du matin de 6.4°C. Bien que par rapport à celle de la rue elle est même inférieure avec un écart max de 0.7°C enregistré à minuit.

L'inertie thermique en étage le jour se comporte comme celle du R.D.C en amortissant la fluctuation de température extérieure, et en la déphasant dans le temps. L'amplitude enregistrée entre la température extérieure et celle de l'intérieur est de 9.9°C après 06h de temps de déphasage Fig-VI-12-.

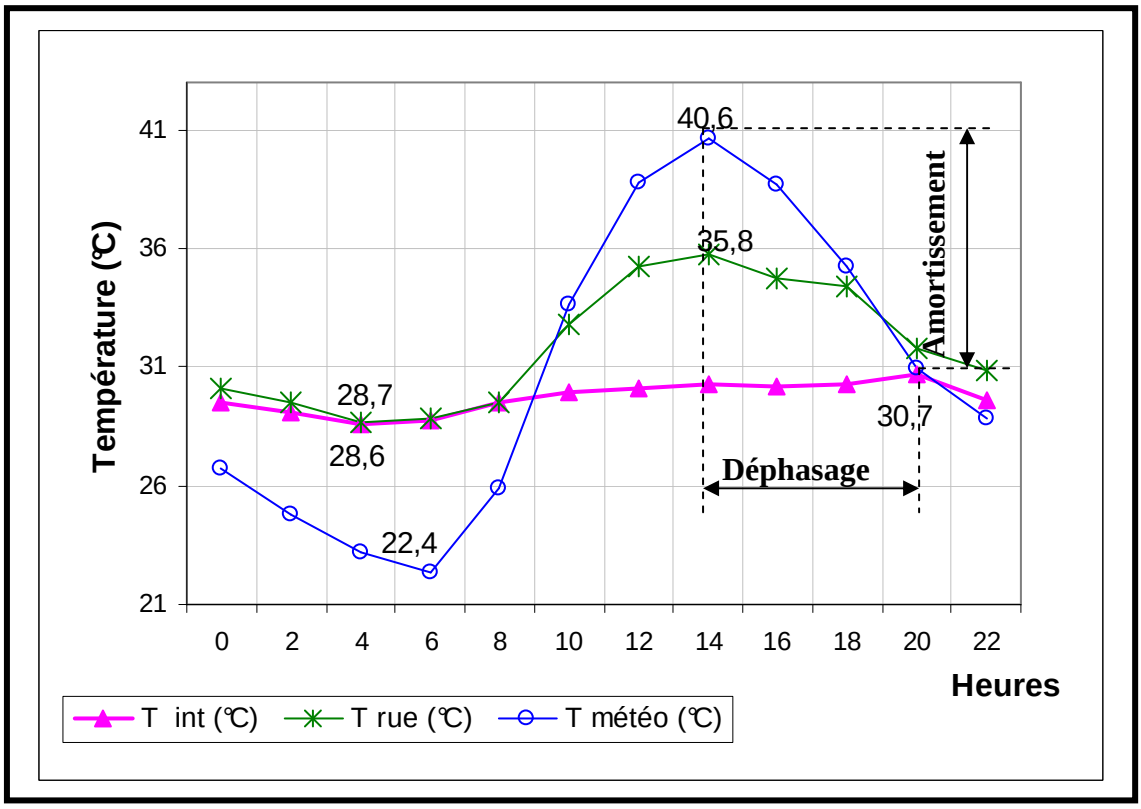


Fig-VI-12- Variation horaire de la température moyenne intérieure et extérieure: période été

A l'encontre de l'inertie thermique en R.D.C qui présente l'inertie de la paroi extérieure et celle de la structure interne, s'ajoute l'inertie du toit en étage. La toiture en pente joue un rôle positif durant le jour, puisque le comble protège le plafond des radiations solaires directes. Baroum en 1983 et Talib en 1998 affirment que la réduction de la surface d'exposition des parois extérieures (la paroi horizontale en particulier) implique la diminution de surface d'échange entre l'intérieur et l'extérieur et participe au maintient d'un environnement intérieur plus clément que la rigueur des conditions extérieures. Mais le soir, le comble participe au retard du rayonnement vers la voûte céleste. Ce ci se manifeste par une légère hausse de température intérieure lorsque la température extérieure chute durant la nuit.

La comparaison de la variation de la moyenne intérieure de la température en R.D.C avec celle en étage Fig-VI-13- fait ressortir l'effet de plusieurs paramètres. Durant le jour de 8h à 16h, la température en R.D.C demeure inférieure à la température en étage avec un écart 0.5°C. Mais de minuit à 6h du matin, la température en étage est inférieure à celle du R.D.C avec un écart 0.4°C.

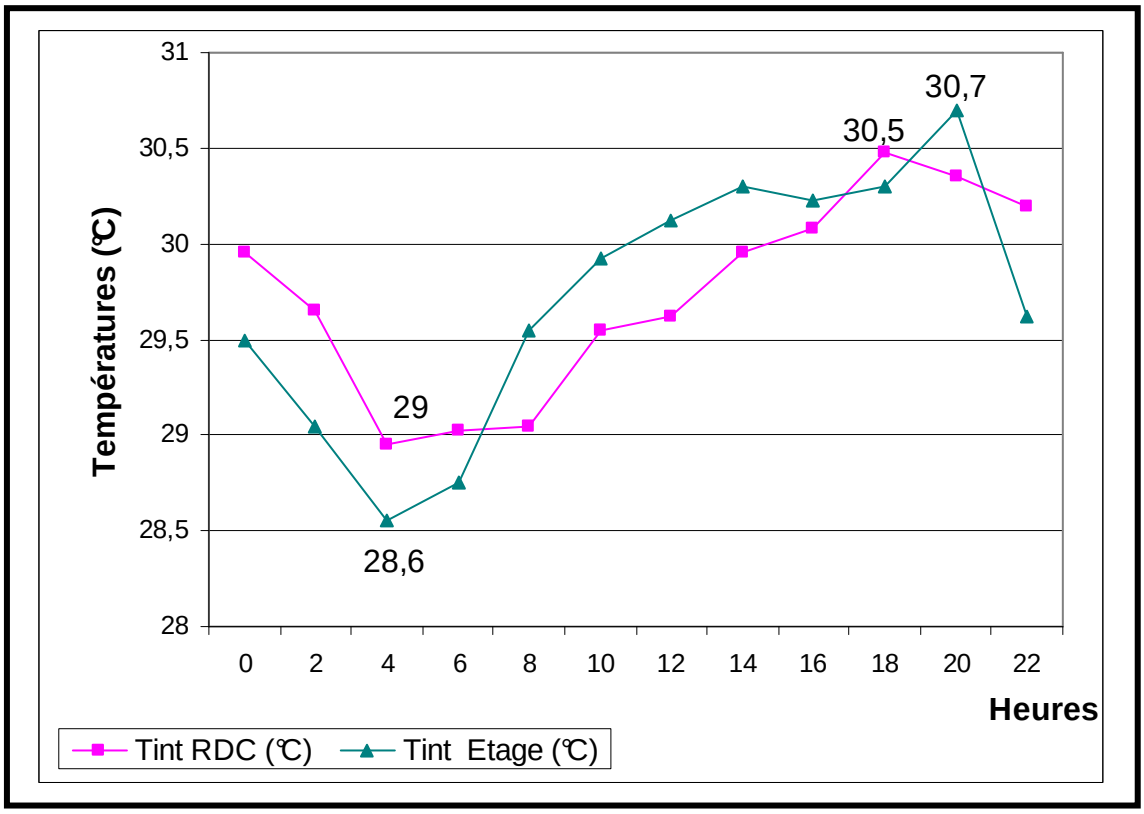


Fig-VI-13- Variation horaire de la température moyenne intérieure en R.D.C et la température moyenne intérieure en étage: période été.

Ce ci se justifie d'une part par l'effet de la cave au profit du R.D.C dans l'abaissement de la température par rapport à l'étage. D'autre par l'effet de la ventilation nocturne au profit de l'étage Fig-VI-14-. Surtout que les persiennes des fenêtres sont maintenues totalement ouvertes en étage, et qui sont bien fermées pour causes de sécurité et d'intimité en R.D.C.

A propos de la maison de l'époque coloniale Abdou. S affirme que ses « *percements facilitent la ventilation et le rafraîchissement de la structure le soir, ce qui justifie sa meilleure performance à partir de 18.00h* ». [8]

De plus, sous l'effet de la ventilation nocturne, selon Givoni, 1983, la structure emmagasine la fraîcheur, qu'elle restitue à l'environnement le jour suivant.

[8] ABDOU. Saliha, __ *Investigation sur l'intégration climatique dans l'habitation traditionnelle en régions arides et semi arides d'Algérie: Cas du Ksar de Ouargla et de la médina de Constantine*, __Thèse de doctorat Université de Constantine, 2 004, p144.

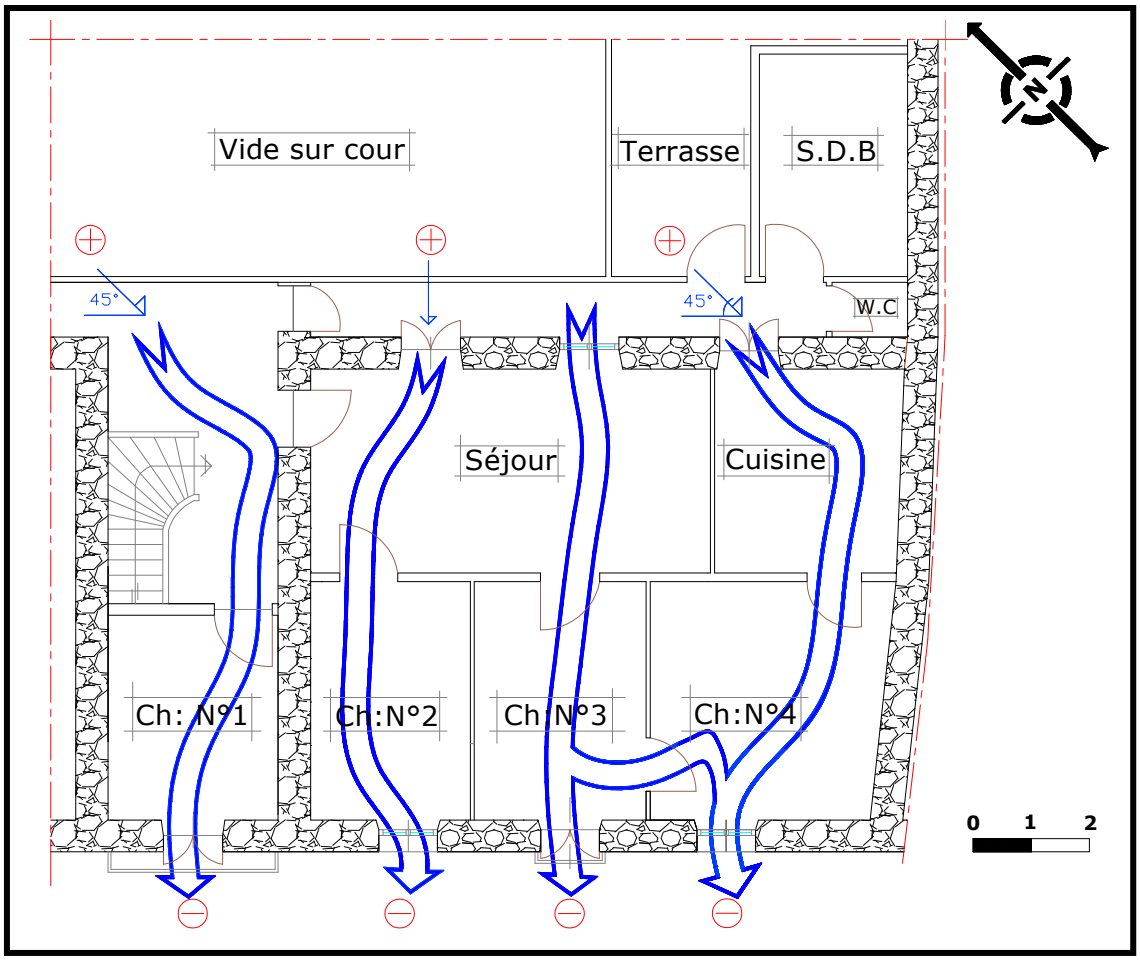


Fig-VI-14- Schéma de ventilation en étage (Source : Auteur)

Le volume de l'espace possède aussi un effet sur la température interne. D'près M. Evans 1981, si la plage de la température est élevée et qu'il est désirable que le bâtiment chauffe lentement, un haut rapport volume/surface est préférable. A noter que le volume de la pièce en R.D.C est plus élevé que celui de la pièce en étage.

On peut déduire que la variation des températures internes est étroitement liée au comportement des parois externes, au comportement des usagers vis-à-vis de l'espace et aussi à la ventilation. Ce résultat est encore une fois en accord avec celui d'Izard, 1993 et Goulart, 2004 (Voir chapitre -IV- sur leurs recherches).

VI-1-2-2* Etude de l'humidité moyenne intérieure et extérieure :

L'étude de l'humidité relative à l'intérieur de la pièce en étage Fig-VI-15-révèle que cette dernière marque une stabilité durant le jour comparée à celle de l'extérieur (rue ou météo). Un écart enregistré de 6.4% entre un maximum de 49.5% à 22h et un minimum de 43.1 % à midi.

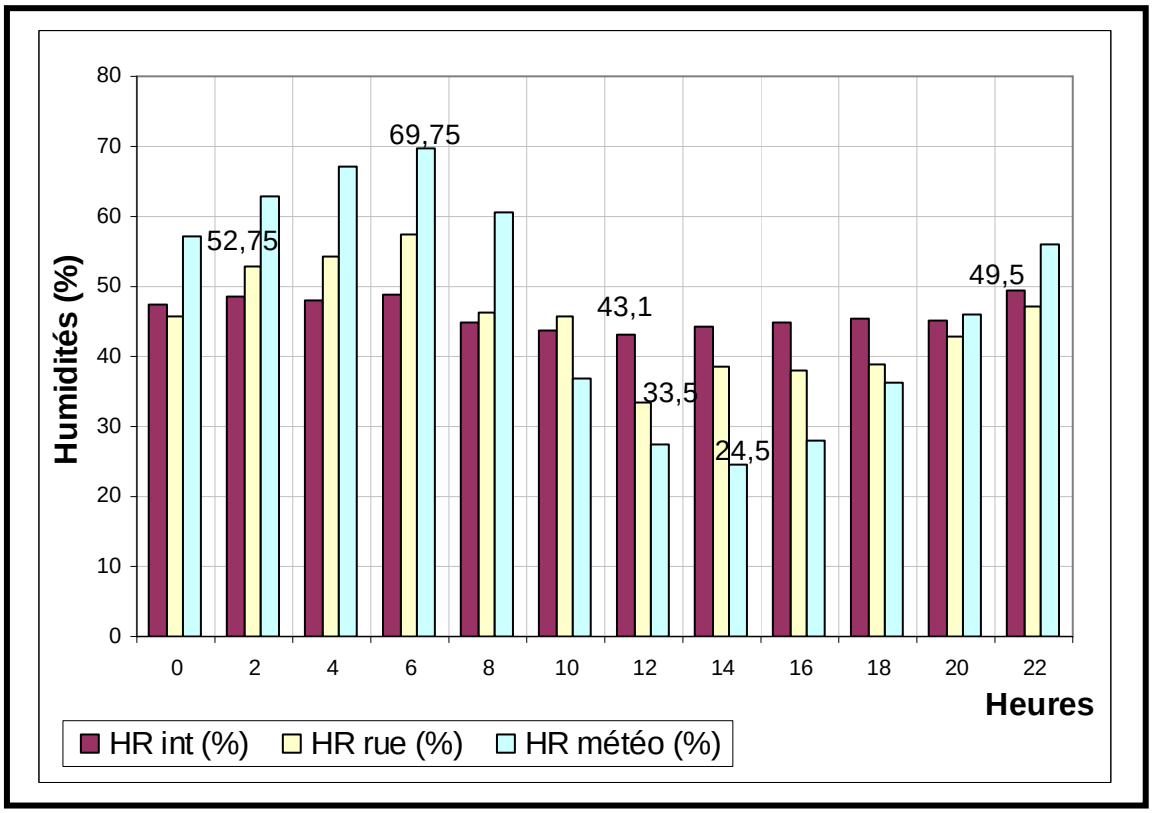


Fig-VI-15- Variation de l'humidité relative moyenne intérieure et extérieure en étage: période été

Mais comparée à celle de l'intérieur en R.D.C, l'humidité relative moyenne en étage est supérieure durant la nuit Fig-VI-16- quand la température est baissée.

Il peut être constaté que la ventilation nocturne participe aussi dans l'augmentation de l'humidité relative de l'air.

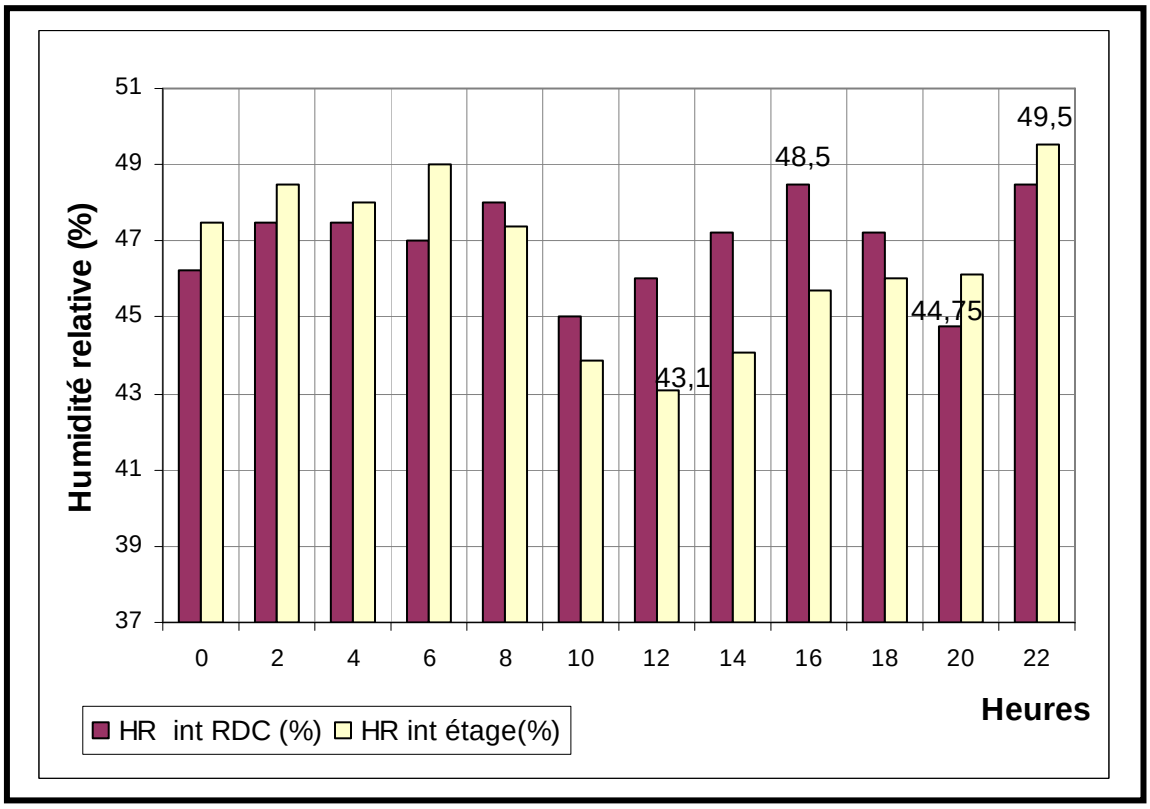


Fig-VI-16- Variation horaire de l'humidité relative moyenne intérieure en R.D.C et l'humidité relative moyenne intérieure en étage: période été

On conclut donc que le confort hygrothermique estival est atteint en R.D.C comme en étage grâce à l'inertie thermique. Même si en considère que « *les bâtiments doivent être adaptés aux conditions d'été, en partant du principe que les exigences d'hiver seront satisfaisantes par un bâtiment où le confort est assuré en été* »[9] , l'affirmation du confort hygrothermique en hiver reste à vérifier dans ce qui suit.

VI-1-3- Interprétation des résultats : Période hivernale en R.D.C :

VI-1-3-1* Etude comparative de la température moyenne intérieure et extérieure :

D'après la Fig-VI-17-, la température moyenne à l'intérieur de la pièce marque une faible amplitude de 2.1°C entre une valeur maximale de 19.1 à 22h et une valeur minimale de 17°C atteinte à 10h du matin. Quant à la température moyenne extérieure au niveau de la rue, varie entre un maximum de 10.5°C et un minimum de 3.9°C. Enfin la moyenne de température extérieure prélevée par les services météorologique fluctue entre une valeur minimale de 3°C et une valeur maximale de 6.8°C. Rappelons que la période d'investigation a connu une vague de froid intense et même des chutes de neige.

[9] GIVONI. Baruch, __ *L'homme, l'architecture et le climat*, __ Paris: Edition du Moniteur, 1978, p353.

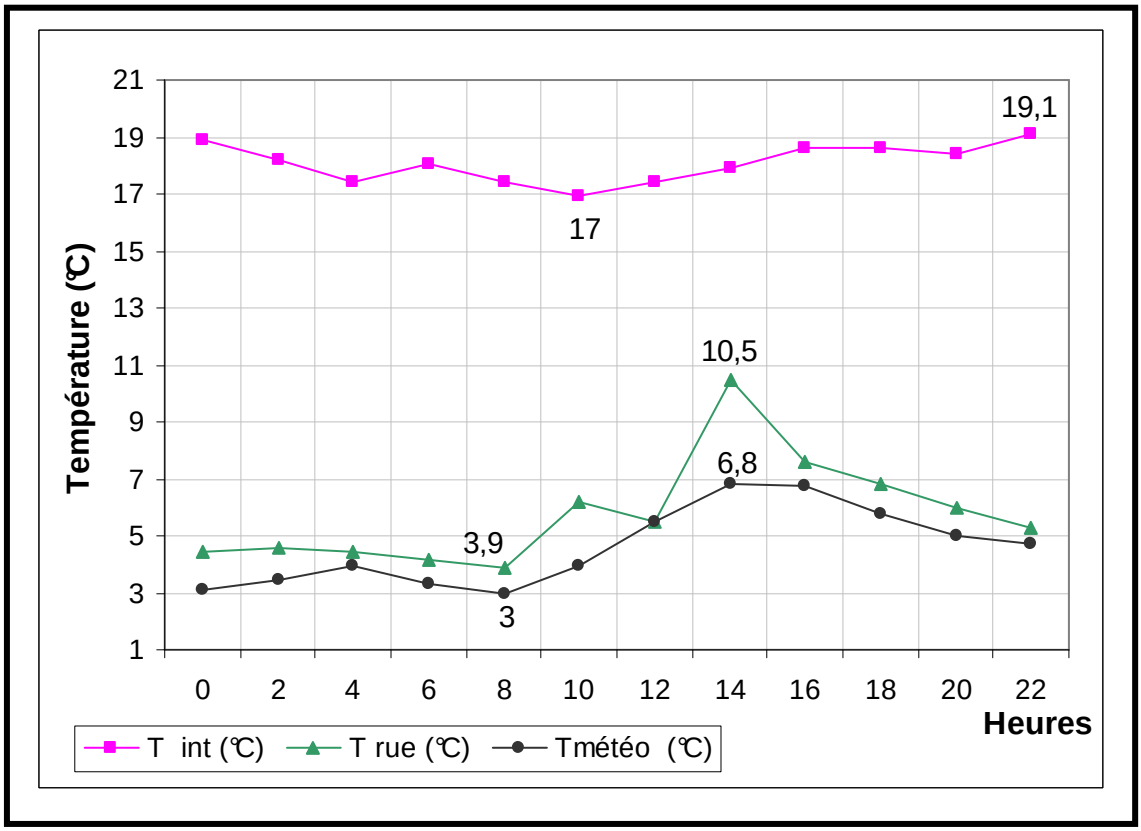


Fig-VI-17- Variation horaire de la température moyenne intérieure et extérieure : période hivernale cas du R.D.C

Un écart important de 15.8°C enregistré à minuit entre la température intérieure et celle de la météo. Avec un aussi important écart de 14.5°C atteint à la même heure avec la température au niveau de la rue.

Donc la température à l'intérieur de la pièce est très stable, comparée à celle de l'extérieur au niveau la rue ou celle de la météo.

Tel que c'est déjà évoqué en période estivale, l'inertie thermique de la paroi agit concrètement comme un amortisseur en s'opposant à toutes variations de température. En période hivernale elle agit plutôt comme un grand absorbeur d'énergie extérieure, et à la fois un limiteur de pertes de la chaleur intérieure. Comme elle évite les surchauffes en été, l'inertie évite les chutes trop brutales de température en hiver. Ce qui est bien remarqué dans la chute de la température extérieure jusqu'à 3°C, où celle de l'intérieur est à plus de 17°C

L'allure générale de la courbe de la température moyenne intérieure enregistre un abaissement la matinée avec une valeur minimale de 17°C à 10h, et une évolution l'après midi (surtout la nuit) avec une valeur maximale de 19.1°C à 22h. Ce ci se justifie par l'ouverture de la fenêtre à 10h pour la ventilation matinale, où en conséquence les

températures décroissent, après quoi (entre10h et 18h) elles tendent à prendre des valeurs uniformes. Pendant cette période le vitrage est fermé, réduisant ainsi les pertes par convection et les volets particulièrement ouverts pour l'éclairage.

Par ailleurs « *les masses thermiques intérieures au logement qui s'échauffent au soleil emmagasinent de l'énergie: plus grande est la quantité stockée, plus faible sera la surchauffe (c'est-à-dire le dépassement de la consigne), et plus grande sera la disponibilité de cette énergie après la disparition du soleil* »[10]

Donc même si les journées d'investigation n'étaient pas ensoleillées, l'inertie séquentielle permet la restitution de l'apport solaire accumulé des journées précédentes d'où la stabilité de la température ambiante. Bien que, le chauffage à gaz installé au niveau du couloir est là pour régulé la température. Il cède une quantité de chaleur par conduction à travers la cloison, et occasionnellement par renouvellement d'air par la porte de la pièce si elle est ouverte. Ce qui permet la hausse de la température durant la nuit par l'effet de l'inertie quotidienne qui restitue aussi la chaleur accumulée du jour. Balaras 1996 affirme que l'énergie disponible des gains solaires et les gains internes durant le jour est stockée dans la masse et lentement restituée dans l'environnement intérieur plus tard lorsqu'on a besoin. Car la constitution du stockage de chaleur à l'intérieur de la pièce suppose pour que les conditions de confort soient maintenues, qu'il y ait un équilibre énergétique à l'échelle de la journée. Ce ci est établi entre la chaleur reçue des apports (solaires ou internes) et emmagasinée par la paroi, et l'extérieur du volume habitable. Selon Balcomb les murs internes sont beaucoup plus efficaces pour le stockage de chaleur que les murs externes parce que chacune des deux surfaces, en augmentant son efficacité, peut travailler à emmagasiner la chaleur.[11] Mais à défaut il y aura un refroidissement potentiel, où le chauffage pourvoira au risque de ce refroidissement et maintiendra une température de confort.

L'effet de l'inertie est même présent en hiver en assurant la protection du bâtiment des déperditions par convection ou infiltrations. Sans oublier l'effet de la mitoyenneté qui aide aussi à diminuer les déperditions.

On peut déduire que l'inertie thermique de la paroi par sa capacité et son épaisseur met bien en évidence la gestion optimale des apports de chaleur. Elle est donc jugée encore plus utile en hiver lorsque les apports gratuits sont importants. On rejoint par ça le résultat de

[10] A.F.M.E « Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie », _ *Conception thermique de l'habitat guide pour la région Provence-Alpes-Côte d'Azu*r, _ Edition EDISUD Décembre 1988, p60.
[11] BALCOMB. J 1983 In " Thermal inertia and natural ventilation – Optimisation of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil " Octobre, 2004.

l'investigation de Ouahrani et Benhabib en 1994. Démontrant l'effet très positif de l'inertie thermique à la fois en saison chaude et froide en permettant la réduction considérable des périodes de refroidissement et du chauffage.

En outre, il faut admettre que la température ambiante de la pièce demeure stable au dessus de 17°C malgré la sensation du sol froid au dessus de la cave. L'air froid reste bloqué au sol, provoquant un assez fort gradient thermique dans la pièce et une aggravation de la gêne ressentie aux pieds; surtout que le sol est dépourvu de tapis.

VI-1-3-2* Etude des températures moyennes surfaciques internes et externes :

La lecture du graphe de la Fig-VI-18- fait ressortir que la température de surface interne de la paroi suit la variation de la température de l'air ambiant interne ; avec un écart max enregistré de 1.7°C à 22h au moment où la température interne est la plus élevée.
La température intérieure et surfacique interne enregistrent leur valeur minimale à 10h de 17°C et 15.7°C, là où le chauffage est éteint et la fenêtre ouverte pour les tâches ménagères.
Quant à la température surfacique externe de la paroi celle-ci enregistre de 9h à 21h de très faibles valeurs, et même inférieures à celles de l'extérieur au niveau de la rue ; avec un minimum atteint à 10h de 4.1°C et un maximum uniquement de 5.9°C à 22h.

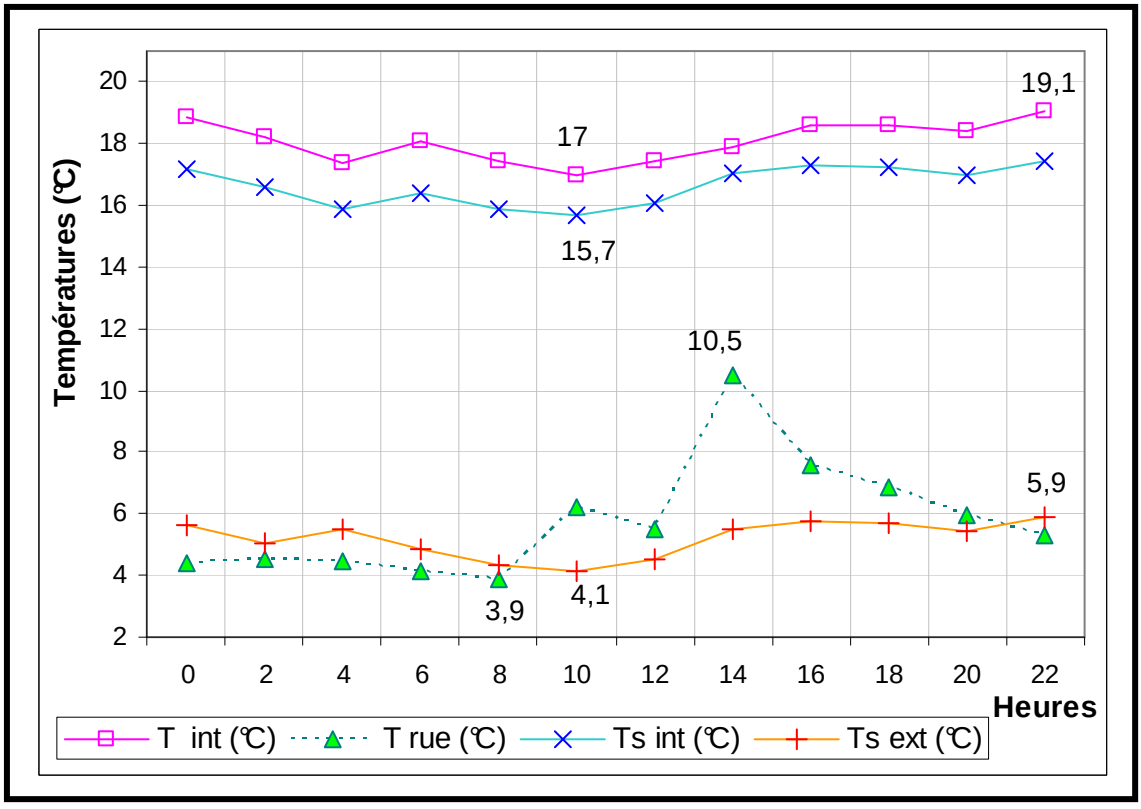


Fig-VI-18- Variation de température moyenne intérieure et extérieure et la température moyenne surfacique interne et surfacique externe du mur (56cm) : période hiver

Ce ci fait comprendre que la paroi grâce à l'inertie du matériau (le travertin), joue le rôle d'isolant en limitant les pertes de la chaleur intérieure et en étalant la pénétration du froid extérieur. Outre, le rapprochement de la température intérieur de la pièce de celle de la surface interne exclu l'effet de la paroi froide, puisque la différence entre les deux températures ne dépasse pas 1.3°C ($\Delta T < 3°C$). Il s'agit donc d'un seul matériau qui fait à la fois, la structure, l'isolation et l'inertie. L'avantage du travertin est positif en hiver, car le temps de pénétration du froid est de 12 heures. Ce qui fait que le froid de la nuit ne pénètre dans la maison que dans la journée, et elle est souvent compensée à ce moment par les apports solaires qui passent par les vitrages. A savoir que les gains générés à l'intérieur se limitent à l'éclairage, l'ordinateur, les meubles et la chaleur de chauffage (par conduction à travers le mur ou par renouvellement d'air par la porte). Par contre les déperditions se font par ventilation, par infiltration à travers les joints de la fenêtre (non étanche) et par conduction à travers la paroi extérieure.

VI-1-3-3* Etude de l'écart de température moyenne intérieure et extérieure :

La Fig-VI-19- ci après affirme un écart positif entre la moyenne de la température intérieure et la moyenne de la température extérieure. Soit un maximum de 15.8°C à minuit et un minimum de 11.1°C à 14h. Cet écart exprime l'apport énergétique généré par la dissipation de la chaleur stockée vers l'intérieur.

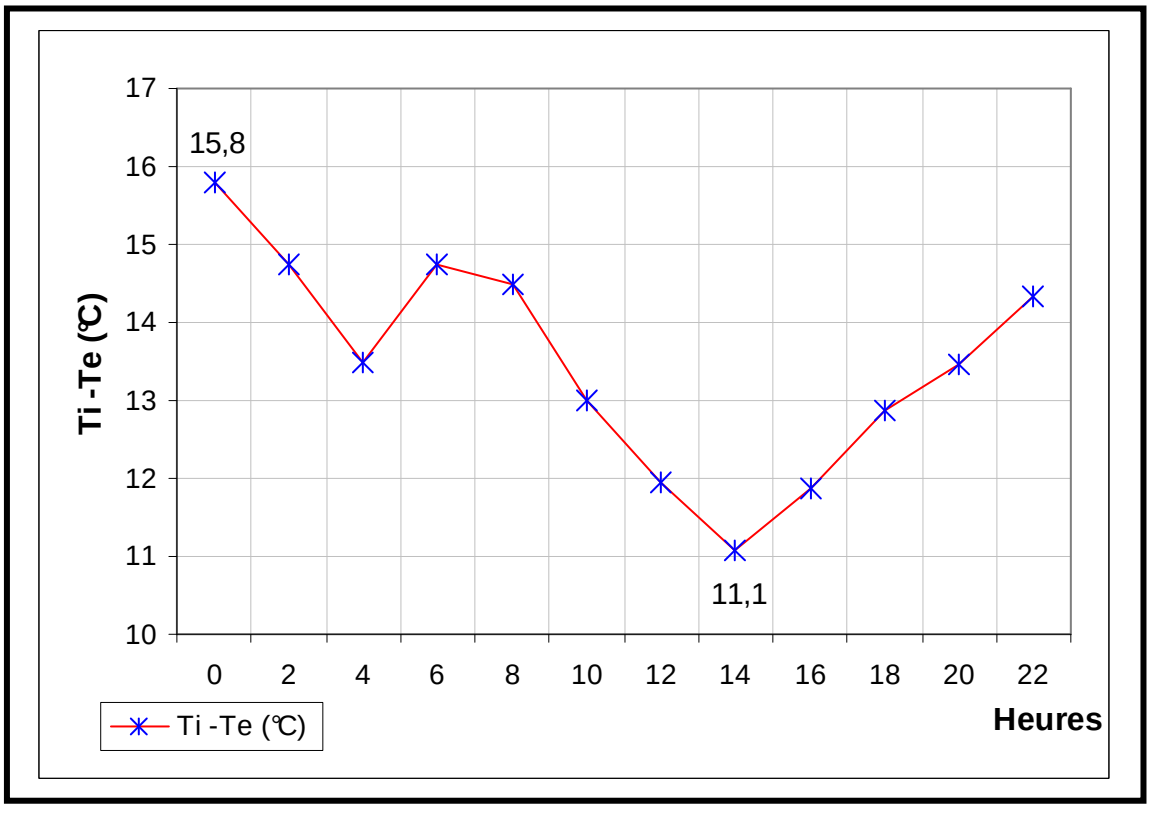


Fig-VI-19- Ecart de températures moyennes horaires intérieures et extérieures: période hiver

VI-1-3-4* Etude des températures maximales, minimales intérieures et extérieures:

Les courbes de la variation des températures intérieures maximales et minimales des jours d'investigation sont situées au dessus de courbes des températures extérieures maximales et minimales Fig-VI-20-. L'amplitude des températures extérieures marque un maximum de 6°C enregistré le troisième jour d'investigation. Celle de l'intérieur est d'un maximum de 4.1°C enregistré le deuxième jour d'investigation. La fluctuation de la température extérieure n'a pas une conséquence directe sur celle de l'intérieur. Cette dernière évolue assez régulièrement.

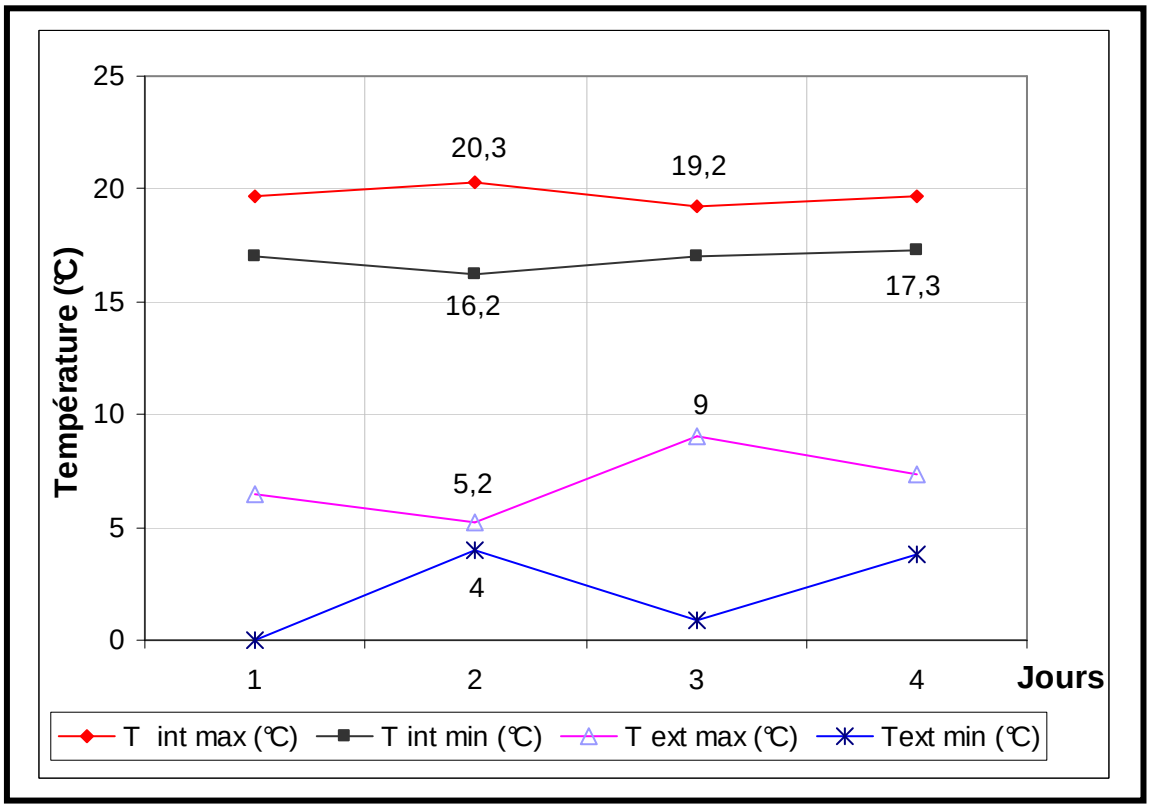


Fig-VI-20- Variation des températures maximales, minimales intérieures et extérieures des jours d'investigation: période hiver

En fait ce ci s'explique par l'effet de l'inertie quotidienne et par celui de l'inertie séquentielle. L'inertie quotidienne permet à la fois de limiter les pertes de chaleur intérieure et d'éviter les chutes trop brutales de la température extérieure. Exemple la température minimale extérieure enregistrée au premier jour d'investigation de 0°C, alors que celle de l'intérieur est à 17°C. L'inertie séquentielle quant à elle, agit d'abord comme un absorbeur d'énergie extérieure et puis comme un gestionnaire des apports de chaleur, assurant ainsi la stabilité de la température ambiante à l'intérieur.

VI-1-3-5* Etude de l'humidité moyenne intérieure et extérieure :

Les histogrammes de l'humidité selon la Fig-VI-21- montrent que les moyennes extérieures enregistrées par les services météorologiques sont supérieures le jour comme la nuit à celles de la rue ou celles de l'intérieur.

La moyenne intérieure de l'humidité donne un maximum de 55.3% à 20h et un minimum de 49% à 14h. Soit un faible écart de 6.3% entre la valeur max et la valeur min. Or l'écart de l'humidité au niveau de la rue est de 15% entre un maximum de 67% à 8h et un minimum de 52% à 14h. Enfin l'écart de l'humidité météo est plus important, de17% entre 89.3% à 8h et 72.3% à 16h.

L'abaissement des valeurs de l'humidité de la rue par rapport à celles prélevées par la station météorologique s'explique par l'effet du micro climat (l'effet de la canalisation du vent au niveau de la rue, chassant l'humidité extérieure).

L'après midi connaît une diminution de l'humidité intérieure et qui est vraisemblable due à l'augmentation des températures dans cette période. L'augmentation de l'humidité la nuit est surtout provoquée par l'occupation.

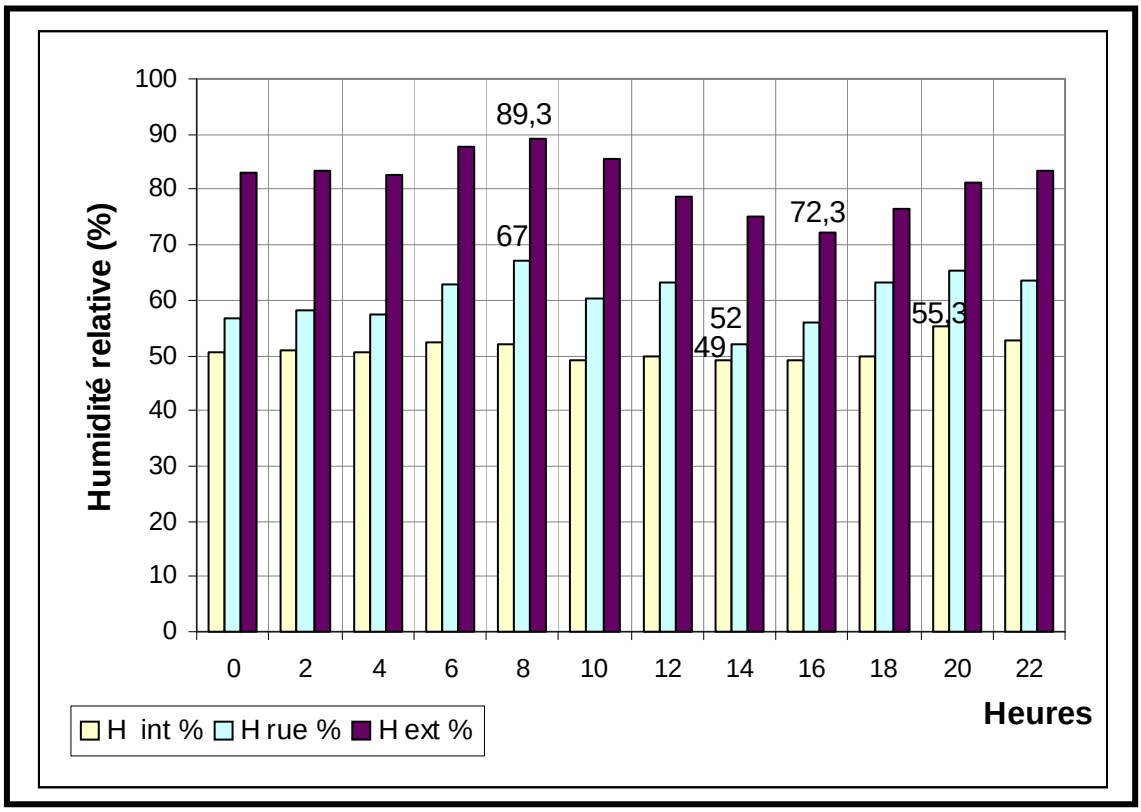


Fig-VI-21- Variation de l'humidité relative moyenne intérieure et extérieure: période hivernale en R.D.C

Donc on constate de ce qui précède que l'équilibre hygrométrique à l'intérieur est assuré d'une part par l'inertie de la paroi en gardant un faible écart de l'humidité. D'autre part par l'uniformité de la température ambiante. Sans oublier l'usage du chauffage qui a un effet non négligeable dans l'équilibre hygrométrique en hiver.

VI-1-3-6* Evaluation du confort thermique :

Les limites du confort hivernal déduites de la température neutre d'Auliciems Tn= 19°C supposent une température de 17°C comme limite inférieure, et une température de 21°C comme limite supérieure.

L'évaluation du confort intérieur Fig-VI-22- montre que la courbe de la température de l'air ambiant intérieur est située entre ces deux limites. Soit un écart max de 2.1°C à 22h de la limite inférieure et écart max de 4°C à 10h de la limite supérieure. Or la température extérieure est totalement en dehors des deux limites de confort, marquant un écart maximal de 14°C de la limite inférieure et 18°C de la limite supérieure.

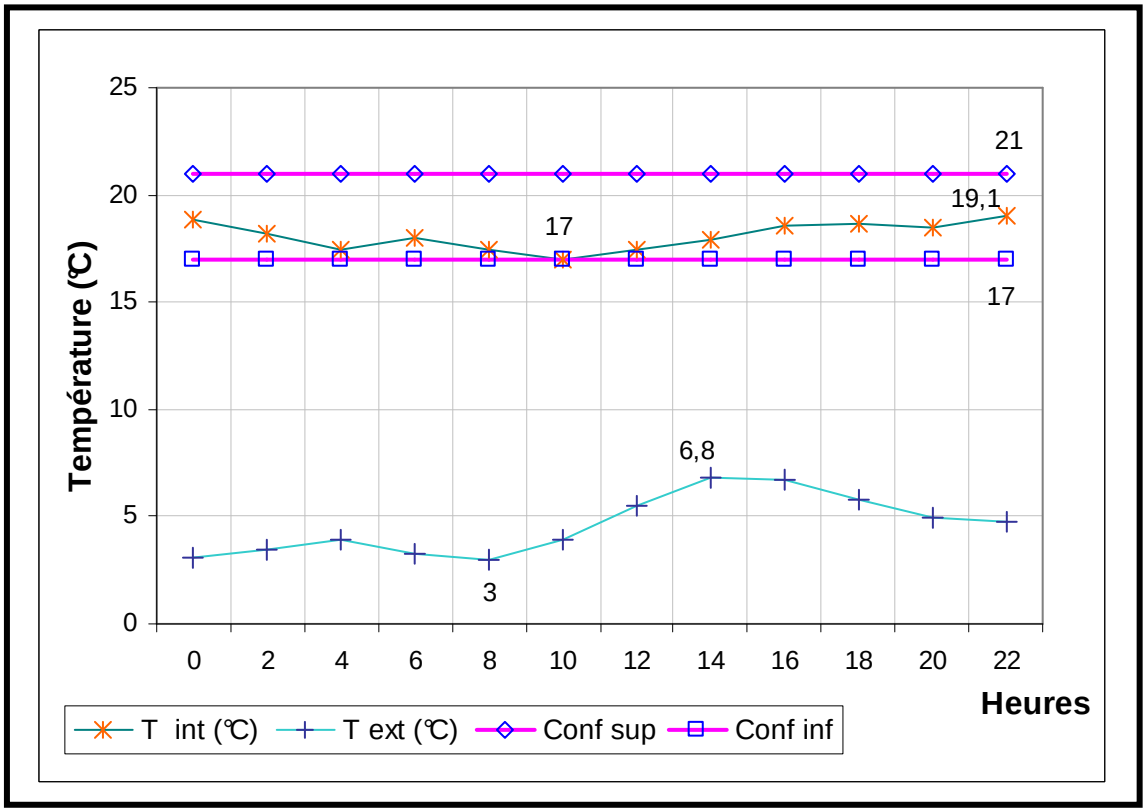


Fig-VI-22- Comparaison de la température moyenne intérieure et les limites de confort période hivernale.

D'après cette évaluation, la pièce est jugée confortable pendant la période hivernale où les conditions extérieures sont les plus défavorables. La température intérieure se rapproche plus de la limite inférieure surtout à10h au moment de la ventilation matinale.

Ce résultat et les affirmations d'auparavant montrent qu'avec l'utilisation du matériau local, la température et l'humidité relative sont quasiment constantes et proches des conditions de confort hygrothermique intérieur. Ce résultat s'ajoute à celui de H.Kazeoui, A.Tahakourt, A. Ait-Mokhtar et A. Belarbi en 2002 en traitant les possibilités de « l'utilisation couplée de l'énergie solaire et des matériaux locaux dans le bâtiment » en climat sud méditerranéen.

VI-1-4- Interprétation des résultats : Période hivernale en étage :

VI-1-4-1* Etude comparative de la température de l'air moyenne intérieure et extérieure:

La température moyenne intérieure de la pièce en étage selon la Fig-VI-23- oscille entre une valeur minimale de 15.5°C à 10h et une valeur maximale de 17.7°C à 22h. Soit une amplitude de 2.2°C Alors que la température de la rue et la température météo enregistrent leur maximum uniquement de 10.5°C et 6.8°C à 14h, et leur minimum de 3.9°C et 3°C à 8h.

La courbe de la température au niveau de la rue est située entre la courbe de la température de l'air intérieur et celle de l'air extérieur de la météo.

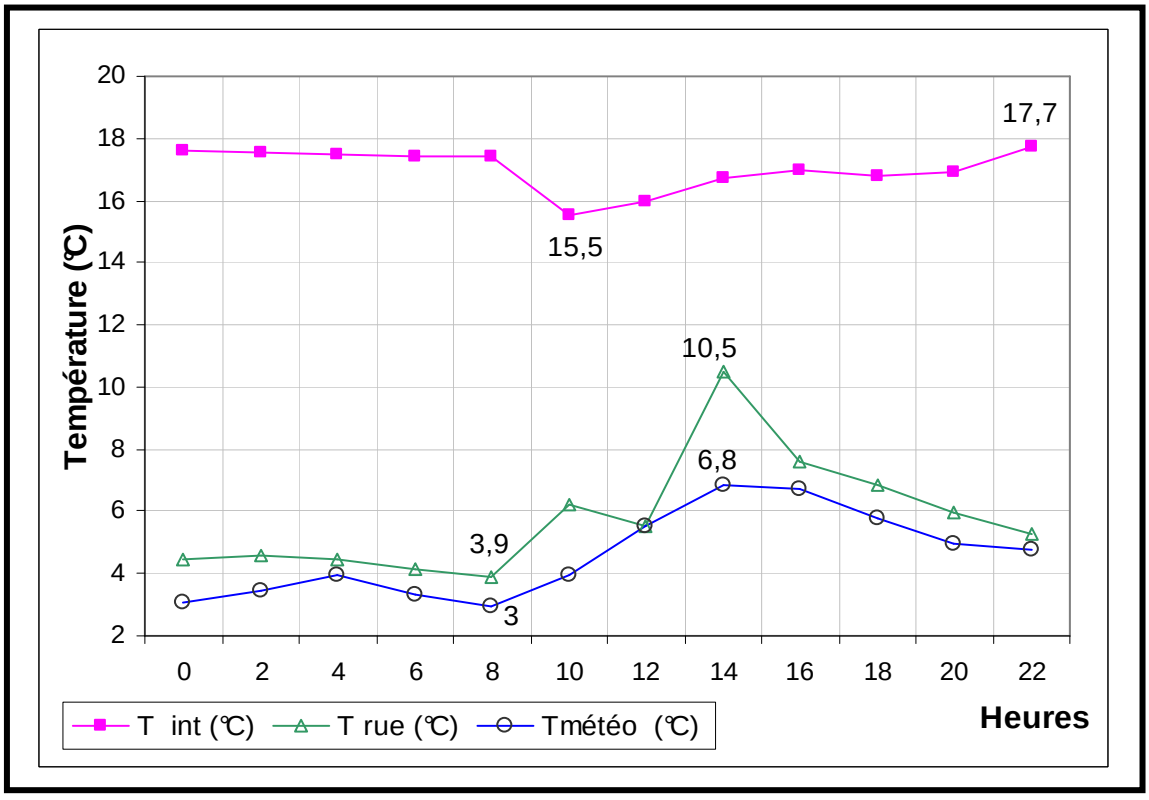


Fig-VI-23- Variation horaire de la température moyenne intérieure et extérieure (cas d'étage) : période hivernale.

La moyenne de la température ambiante dans la pièce en étage est plus stable comparée à celle de l'extérieur. Elle ne chute qu'à 10h en conséquence de l'ouverture de la fenêtre pour la ventilation matinale et les tâches ménagères.

Donc l'inertie thermique de la paroi en étage agit comme celle du R.D.C en limitant la variation de la température, et en diminuant les pertes de la chaleur intérieure. La toiture protège aussi du froid en retardant sa pénétration à l'intérieur par le biais du vide laissé entre le comble et le plafond.

Mais la comparaison de la variation de la moyenne intérieure de la température en R.D.C avec celle en étage Fig-VI-24- fait ressortir que la température de la pièce en étage est inférieure à la température de la pièce en R.D.C. Marquée par un écart max de 1.8°C à 18h. Ce ci s'explique par les gains internes qui sont plus importants en R.D.C qu'en étage. Générés en cas du R.D.C par l'ordinateur, les meubles et surtout la chaleur du chauffage introduite par conduction à travers la paroi de la chambre. A l'encontre de la pièce en étage où le peu de meubles, et l'emplacement éloigné du chauffage qui ne favorise pas la génération d'une grande quantité de chaleur.

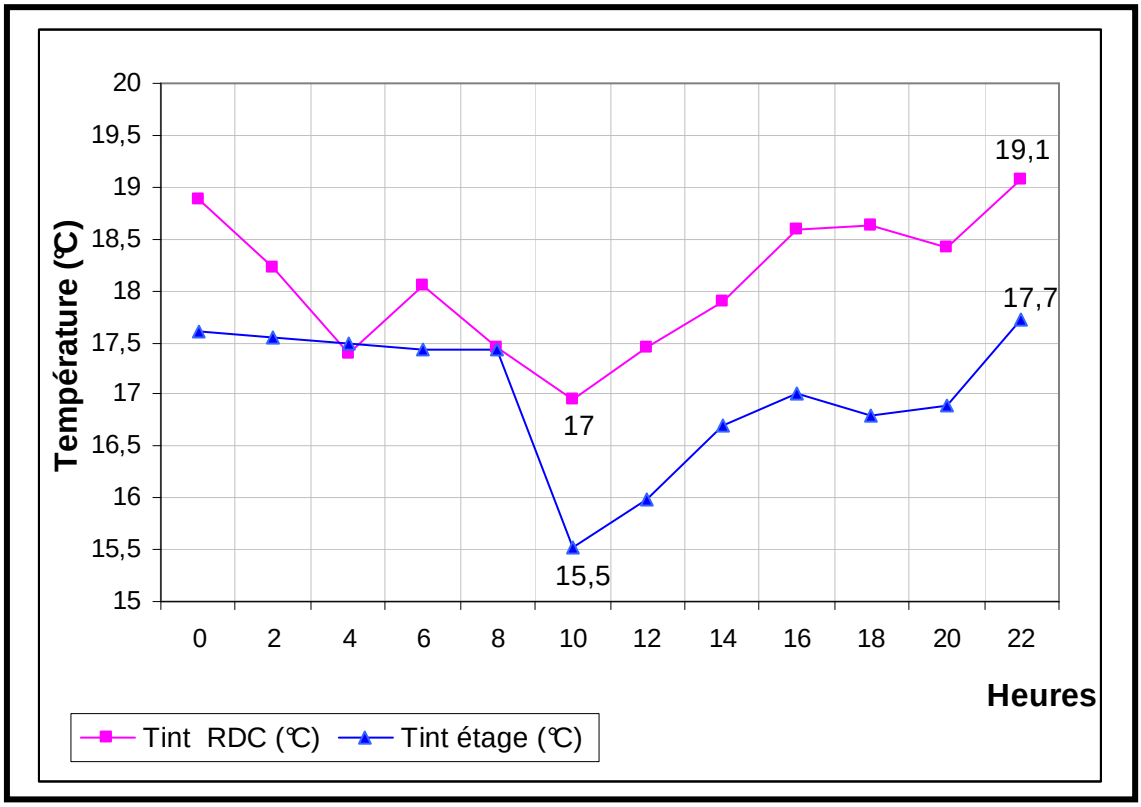


Fig-VI-24- Variation horaire de la température moyenne intérieure en R.D.C et la température moyenne intérieure en étage : période hivernale

VI-1-4-2* Etude de l'humidité moyenne intérieure et extérieure :

L'étude de l'histogramme de l'humidité relative à l'intérieur de la pièce en étage Fig-VI-25- affirme que cette dernière marque une stabilité durant le jour comparée à celle de l'extérieur (rue ou météo). Un faible écart enregistré de 3.6 % entre un maximum de 46.1% à 10h et un minimum de 41.5% à 8h. Tandis que l'humidité au niveau de la rue est d'un important écart de 15 % entre 67 et 52 %, et celui de la météo de 17 % entre 89.3 et 72.3 %.

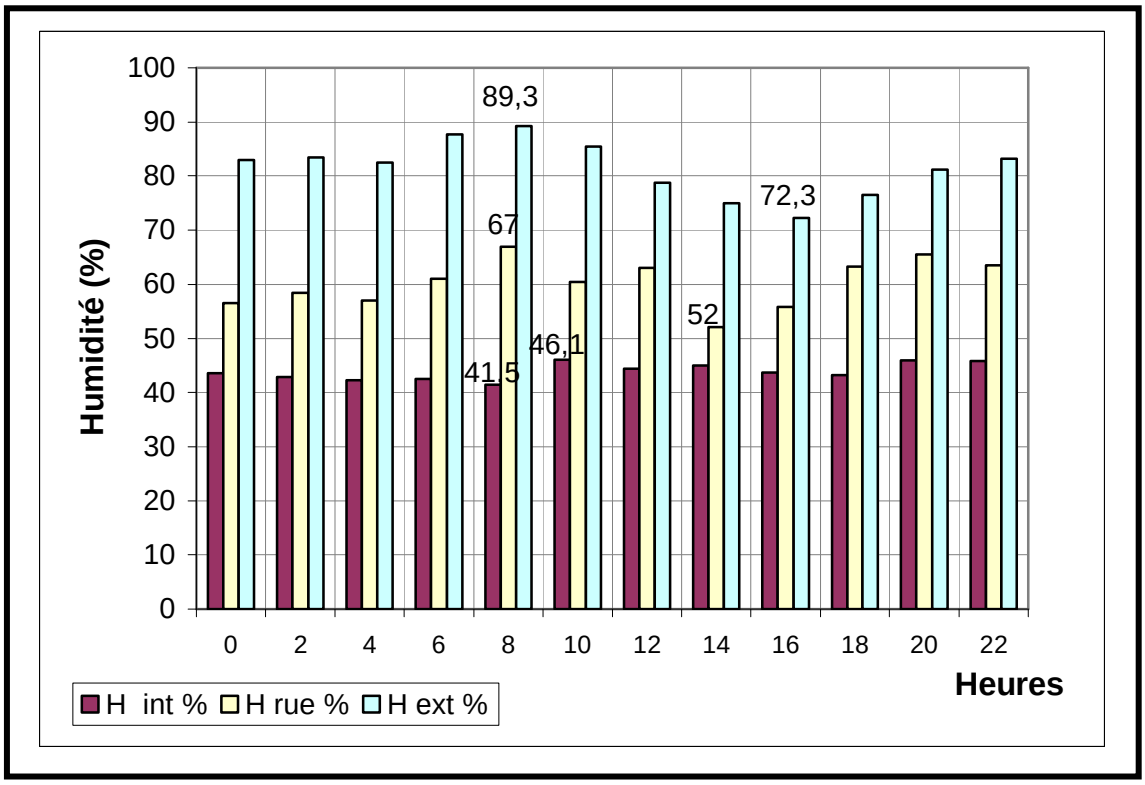


Fig-VI-25- Variation de l'humidité relative moyenne intérieure et extérieure en étage: période hivernale

De même que pour la chambre en R.D.C, l'équilibre hygrométrique à l'intérieur de la pièce en étage est assuré par l'inertie de la paroi et par l'uniformité de la température ambiante. A noter que la toiture a été réhabilitée dans le temps à plusieurs reprises, évitant ainsi toute pénétration des eaux de pluies et assurant la protection optimale des intempéries.

Or comparée à l'humidité de la pièce en R.D.C, l'humidité en étage est relativement inférieure Fig-VI-26- avec un écart max de 10.5% atteint à 8h. Ce là est peut être causé par l'effet du comportement vis-à-vis de l'espace ou par celui de l'occupation qui est plus continue dans la pièce du R.D.C (la fille en étage n'utilise pas constamment sa chambre). Ou même par la différence des appareils de mesures de l'humidité qui ont été utilisés dans les deux chambres.

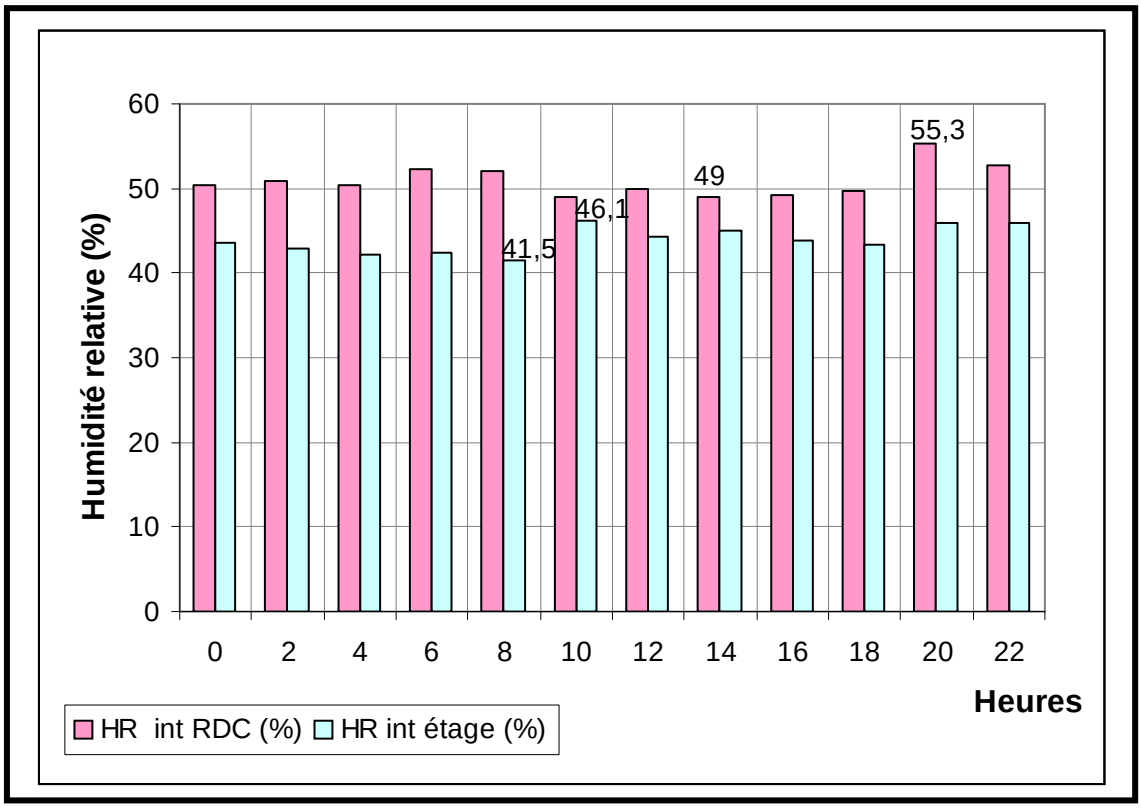


Fig-VI-26- Variation horaire de l'humidité relative moyenne intérieure en R.D.C et l'humidité relative moyenne intérieure en étage: période hivernale.

On déduit donc que l'humidité ambiante est aussi influencée par l'effet de l'occupation et le comportement de l'usager (gestion de fenêtre, tâches ménagères..).

L'investigation sur le comportement thermique de la maison de l'époque coloniale révèle que l'inertie thermique de son enveloppe assure le confort intérieur hygrothermique hivernal et estival. Les capacités de l'inertie assurent les facultés d'isolation de l'extérieur d'une part contre le froid d'hiver, et d'autre part contre la chaleur d'été. Autrement dit l'inertie thermique est une réponse à deux besoins distincts, en évitant les surchauffes et en limitant les déperditions de la chaleur. Elle procure aussi l'équilibre hygrométrique, où la pierre avec ses propriétés de l'absorption et la désorption de la vapeur d'eau contenue dans l'ambiance, permet de réguler les conditions intérieures.

Alors grâce à l'inertie la réponse thermique de la maison de l'époque coloniale est bonne, mais reste assez dépendante de divers paramètres, dont le comportement de ses occupants, le contrôle de la ventilation nocturne en été et le chauffage d'appoint pour la régulation de la température en hiver.

L'inertie peut être donc considérée en tant qu'un procédé passif dans l'amélioration des conditions intérieures en climat chaud, sub humide en été et froid comme celui de Guelma. Par conséquent elle contribue dans la réduction de la consommation énergétique. Elle permet l'utilisation rationnelle du chauffage en hiver et le non besoin de la climatisation en été. Pour bien justifier ces constatations, une seconde étude de la consommation énergétique s'avère nécessaire.

VI-2- Evaluation de l'impact de l'inertie sur la consommation énergétique:

L'étude comparative des factures de gaz et d'électricité, est l'outil choisi pour vérifier l'impact de l'inertie thermique sur la consommation énergétique. Effectuée entre les deux maisons de l'immeuble colonial à celui d'une villa contemporaine.

La maison « Medjelekh » du R.D.C et la maison « Oumerzoug » d'étage présentent les deux maisons de l'immeuble colonial, choisies précédemment pour l'investigation du confort hygrothermique (avec la pièce du R.D.C et la pièce d'étage). La villa contemporaine est présentée dans ce qui suit par la maison « Rahel ».

Pour une étude quantitative et équivalente des deux formes de l'énergie, électricité et gaz de ville, l'analyse se base sur l'étude du taux de consommation et non du coût. Du fait que les prix du gaz et de l'électricité changent de tarif d'une période à une autre, et ils sont en augmentation d'une année à une autre. Donc la comparaison des totaux de la consommation de l'énergie des trois maisons permet de mieux définir la maison qui consomme le moins ou le plus d'énergie, pour répondre à ses besoins de confort. A savoir que l'énergie domestique utilisée concerne les travaux habituels journaliers (cuisson, eau chaude, appareils électroménagers, machine à coudre..), les loisirs (télévision, outil informatique,..) et le confort (l'éclairage artificielle, chauffage, ventilation et climatisation…).

La consommation de cette énergie domestique dépend non seulement de l'inconfort perçu dans l'habitation et des besoins en confort, mais aussi du nombre d'appareils électriques utilisés. La durée et la fréquence du fonctionnement des appareils de chauffage et de rafraîchissement influent aussi sur le taux de consommation et par conséquent sur le coût trimestriel.

Cependant, il est difficile de tirer la consommation spécifique pour le chauffage et le rafraîchissement de la consommation totale. Donc l'étude se limite à comparer le taux total de chaque consommation énergétique des trois maisons en considérant que le1^{er} et le 2ème trimestre concernent la période froide, et le 3ème et le 4ème trimestre la période chaude.

En premier lieu l'étude s'est fixée de comparer les totaux de consommation des trois maisons. Mais vu que la maison Rahel est un peu plus spacieuse que les deux maisons coloniales, une deuxième comparaison est établie entre la consommation de la maison Rahel et la consommation de la maison Medjelekh additionnée à celle de la maison Oumerzoug.

Le tableau-VI-1- ci-dessous donne les types et le nombre d'appareils domestiques utilisés par les trois maisons.

Tableau -VI-1-: Nombre et types d'appareils utilisés

Maisons / **Appareils utilisés**	**Medjelekh**	**Oumerzoug**	**Rahel**
Chauffage	×	×	×
Cuisinière	×	×	×
Chauffe-bain			×
Frigidaire	×	×	×
Congélateur		×	
Four électrique	×	×	×
Robots de cuisine	×	×	×
climatiseur			×
Ventilateur	×		×
Lave linge	×		×
Outil informatique	×	×	
machine à coudre	×		×
Fer à repasser	×	×	×
Sèche cheveux	×	×	×
Télévision	××	×	×
Démo	×	×	×
Chaîne HI- FI	×		
Moteur à pomper l'eau		×	×

A noter que le ventilateur dans la maison Medjelekh n'est utilisé que très rarement dans le séjour donnant sur le coté sud ouest pendant la sieste des journées de canicule.

VI-2-1- Etude comparative de la consommation électrique:

L'interprétation de la Fig-VI-27- sur la consommation de l'électricité sur une période de dix trimestres, fait ressortir que la consommation de la maison Medjelekh est la moins réduite avec un minimum de consommation de 253KWh atteint le 2ème trimestre 2005 et un maximum de 345KWh au 4ème trimestre 2004. La courbe d'oscillation de la consommation est uniforme et homogène, presque stable. Elle marque des augmentations très légères chaque 4ème trimestre. Ce qui est dû surtout à l'utilisation sans cesse des deux téléviseurs en été, où les membres de la famille demeurent toute la journée à l'intérieur frais de la maison en période de congés et de vacances.

La consommation de la maison Oumerzoug est plutôt moyenne avec un maximum de 714 KWh au 3ème trimestre 2005, et un minimum de 476KWh au 1er trimestre 2004. La consommation électrique annuelle de la maison Oumerzoug marque ses valeurs maximales chaque 3ème et 4ème trimestre. Ce qui s'explique par l'utilisation du moteur pour pomper l'eau à l'étage pendant la période chaude, où le débit de l'eau potable décroît en général dans toute la ville pendant la saison d'été.

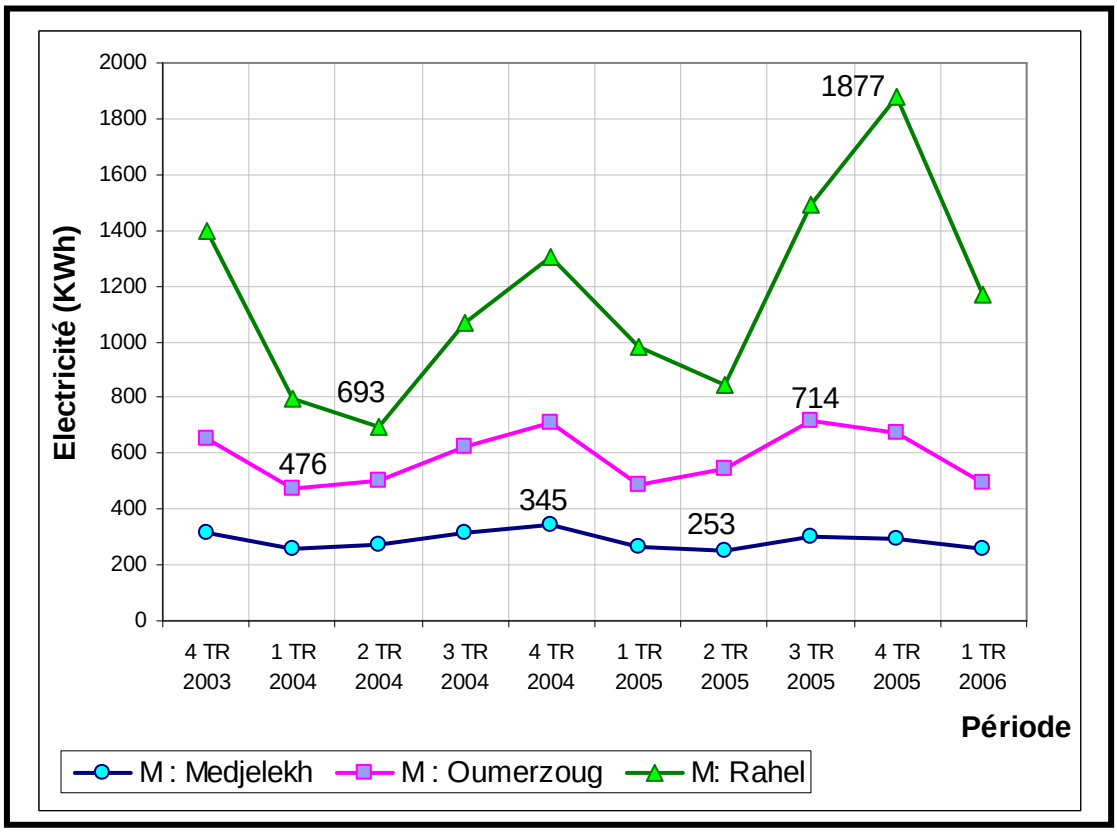


Fig-VI-27- Consommation de l'électricité des trois maisons sur une période de dix trimestres.

La consommation électrique de la maison Rahel enregistre les plus hautes valeurs. La courbe de sa fluctuation augmente considérablement à chaque fin du 4ème trimestre, c'est-à-dire en saison d'été. Avec un maximum de 1877 KWh atteint le 4ème trimestre 2005.
La courbe par contre rechute au 1er et au 2ème trimestre (la saison froide), avec un minimum de 693 KWh atteint le 2ème trimestre 2004.

La quantité maximale de la consommation électrique de la maison Rahel revient en grande partie aux moyens de rafraîchissement, le climatiseur et le ventilateur utilisés pour atteindre un certain confort thermique d'été. Malgré que la maison bénéficie d'un jardin de divers arbres et plantes pouvant créer un micro climat agréable.

En plus, même si on fait additionné le taux de consommation de la maison Medjelekh à celui de la maison Oumerzoug pour le comparé au taux de consommation de la maison Rahel Fig-VI-28-, cette dernière marque toujours les plus hautes valeurs. L'écart maximum enregistré en été au 4ème trimestre 2005 est de 905 KWh.
Le taux de consommation des deux maisons coloniales demeure faible, avec un minimum de 737 KWh atteint au 1er trimestre 2004.

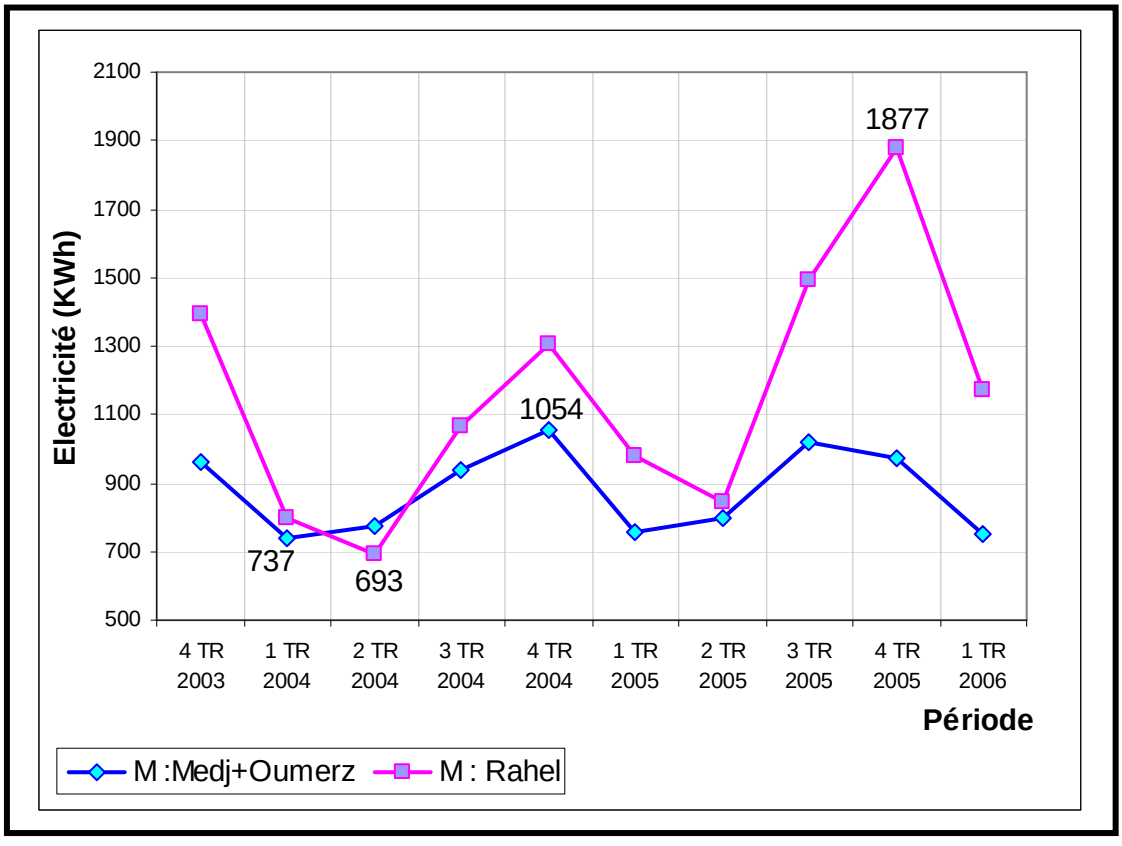


Fig-VI-28- Consommation de l'électricité de la maison Rahel et la maison Medjelekh additionnée à la maison Oumerzoug

On peut déduire de ce qui précède que l'impact de l'inertie est vraiment patent sur la consommation électrique surtout l'été. L'enveloppe des deux maisons coloniales assure le confort hygrothermique sans le recours à la climatisation. C'est donc une source d'économie d'énergie en été.

VI-2-2- Etude comparative de la consommation du gaz naturel :

L'étude comparative de la consommation du gaz naturel des trois maisons Fig-VI-29- indique la faible consommation de la maison Medjelekh. Son maximum est de 8146 Thermie, atteint le 1er trimestre 2006 c'est-à-dire en hiver, et son minimum est de 897 Thermie au 3ème trimestre 2005.

La maison Oumerzoug enregistre des taux moyens de consommation du gaz. Un maximum de 15853 Thermie atteint au 1er trimestre 2005, et un minimum de 1699 Thermie au 3ème trimestre 2005.

Quant à la maison Rahel, sa consommation du gaz est importante. Soit un maximum de 23235 Thermie, enregistré au 1er trimestre 2005 et un minimum de 1690 Thermie au 4ème trimestre 2003.

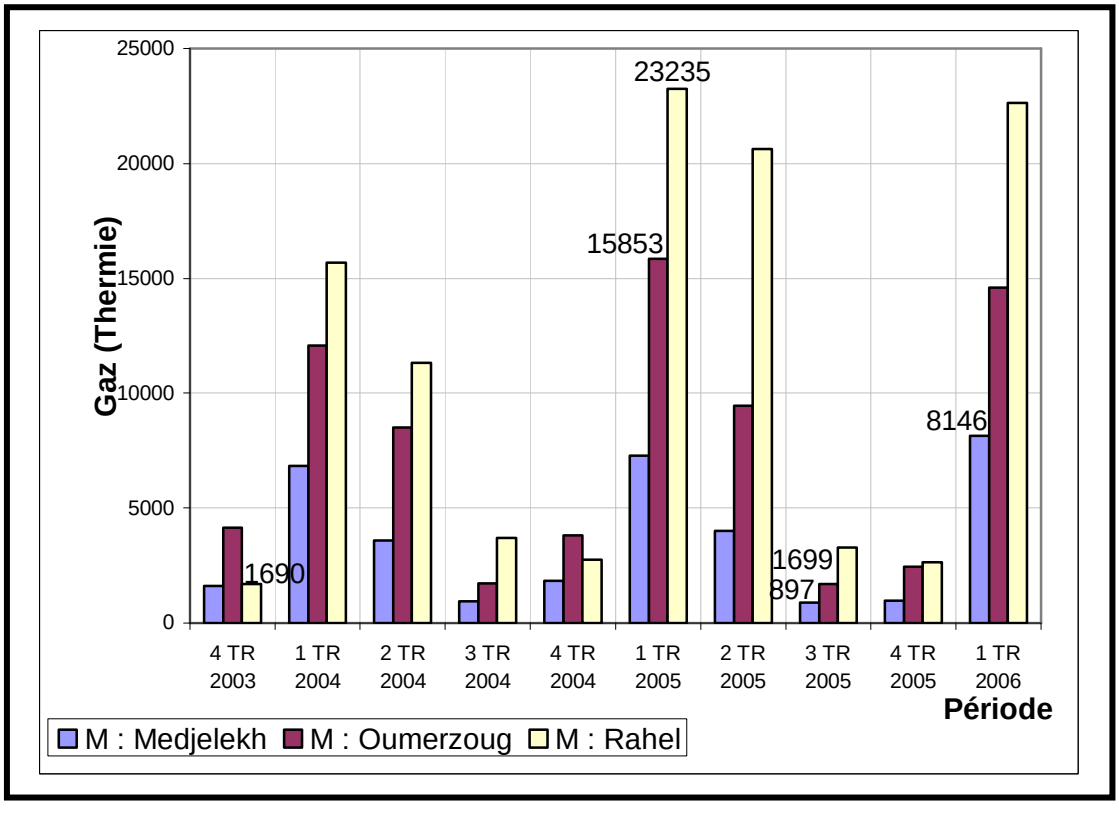


Fig-VI-29- Consommation du gaz des trois maisons sur une période de dix trimestres.

La consommation du gaz augmente remarquablement en période froide et diminue en période chaude, surtout à cause de l'utilisation intense du chauffage.

Selon M.Croiset en 1978, les dépenses de chauffage sont générées par : 1/3 dû aux déperditions par les parois opaques, 1/3 dû aux déperditions par les parois vitrées et 1/3 dû aux déperditions par renouvellement d'air. Les deux maisons de l'immeuble colonial profitent à la fois de la forte inertie (la pierre) et la mitoyenneté réduisant en conséquence les pertes de la chaleur du chauffage. A l'encontre de la villa contemporaine qui est d'une inertie faible (parpaing), et en plus elle est isolée dans sa parcelle. Ce qui provoque des déperditions importantes à travers ses parois. D'autre part son volume est plus percé que celui des maisons coloniales, où les déperditions seront aussi grandes à travers ses parois vitrées.

Alors, il faut admettre que les besoins du chauffage peuvent être minimisés tout en assurant un bon niveau de confort thermique, si la conception de l'enveloppe du bâtiment est appropriée. L'inertie thermique de l'enveloppe de l'immeuble colonial avec l'épaisseur et la masse importantes de ses parois a bien réduit les besoins de chauffage, c'est donc un facteur d'économie d'énergie en hiver.

Par ailleurs, il faut signaler qu'en s'appuyant sur les principes de la conception bioclimatique, les besoins de chauffage d'une maison individuelle peuvent être réduit à moins de 60 KWh/m²/an, pour une température intérieure égale à 19°C, soit une consommation prévisionnelle de l'ordre de 80 KWh /m²/an où la consommation moyenne d'une maison individuelle en France est au-delà de 180 KWh /m² /an.[12]

Or la comparaison du taux de consommation du gaz de la maison Medjelekh et la maison Oumerzoug avec celui de la maison Rahel Fig-VI-30-, indique que cette dernière marque un maximum légèrement plus élevé que celui des maisons coloniales. Soit un écart de 96 Thermie, enregistré au 1er trimestre 2005 entre 23235Thermie pour la maison Rahel et 23139 Thermie pour les maisons coloniales.

On remarque que la consommation de la maison Medjelekh et la maison Oumerzoug demeure aussi importante. Surtout que le minimum enregistré des deux maisons coloniales de 2596 Thermie est plus important que celui de la maison Rahel qui est de 1690 Thermie. Ce qui est principalement généré par le taux d'occupation qui n'est pas le même pour les trois maisons. Vu que les maisons coloniales sont occupées par deux familles de 06 personnes chacune et la maison Rahel est de 05 personnes seulement.

[12] La lettre de l'A.D.E.M.E Octobre 1997, __ In « Eco conception des bâtiments », p183.

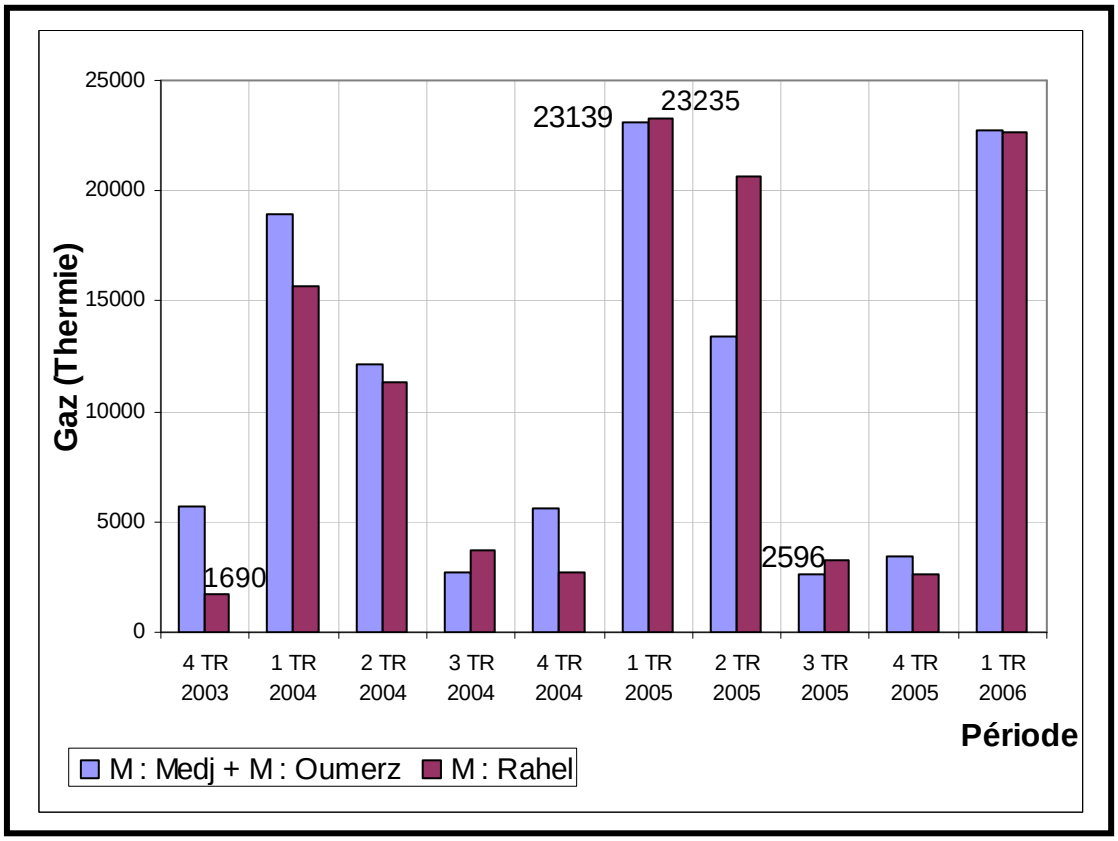


Fig-VI-30- Consommation du gaz de la maison Rahel et la maison Medjelekh additionnée à la maison Oumerzoug

Par conséquent on peut déduire que l'inertie thermique diminue la consommation énergétique d'été comme d'hiver, en assurance du confort hygrothermique dans l'habitat.

Elle permet en hiver l'utilisation rationnelle du chauffage, et en été le non besoin de climatisation. Ainsi, pour un meilleur comportement thermique de la construction, l'inertie thermique se combine avec les moyens de chauffage et de refroidissement naturelle pour produire une bonne perception du confort hygrothermique intérieur.

On rejoint par ce résultat final l'avis de Oliver Sidler en 2003 sur son apport de compagne de mesure menée dans la bande méditerranéenne ou provençale, et dans l'agglomération lyonnaise sur l'impact de l'inertie sur le confort et la consommation énergétique du bâtiment. Sidler Affirme que « *l'inertie thermique est toujours nécessaire pour améliorer le confort en hiver comme en été, quelque soit le type et le mode d'utilisation des bâtiments, mais elle ne suffit pas à cette fin. 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….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, conduit à des surconsommations de chauffage en hiver. »[13] Ce cas dernier ne concerne pas celui de cette investigation, où l'occupation est continue dans les maisons coloniales.

Conclusion :

De cette investigation, il ressort que le rôle de l'inertie est vraiment prépondérant dans la création du confort hygrothermique intérieur. Dépendant bien sur de l'épaisseur, la qualité thermique du matériau et le comportement des usagers vis-à-vis de leur espace. Son impact est aussi perceptible sur la consommation énergétique dans le bâtiment, l'été comme l'hiver.

Dans le but de valider les résultats de cette investigation, on procède dans le chapitre suivant à une simulation à l'aide d'un programme informatique (TRNSYS V14.1). Permettant d'une part l'évaluation de la performance des espaces étudiés et d'autre part la possibilité de l'amélioration de leur performance. Suivant différents matériaux, épaisseurs de la masse thermique et des isolants, on détermine l'épaisseur idéale, le matériau le plus favorable, et l'épaisseur et l'emplacement recommandés de l'isolant.

[13] SIDLER. Olivier, directeur de la Sté ENERTECH, *L'inertie thermique en climat méditerranéen. Confort et consommations d'énergie*, Montpellier, Colloque le 15/05/2003. Email: silder@club-internet.fr

Chapitre VII :

Simulation

Introduction :

En raison du coût et des durées expérimentales, la simulation est un moyen efficace pour mettre au point et étudier le comportement thermique des bâtiments en régime variable. Mais il est nécessaire de savoir ce que l'on cherche pour utiliser l'outil de façon optimal. L'informatique offre la possibilité d'effectuer des calculs qui seraient longs, fastidieux et répétitifs. A. Chatelet et al affirment que « *pour l'architecte, la simulation doit permettre de valider rapidement des options fondamentales, d'explorer et de commencer à optimiser certains choix…pour un meilleur confort et des charges de fonctionnement moindre* ». [1]

D'après l'investigation menée, l'inertie est une option qui peut affecter grandement la qualité thermique du bâtiment. Afin de valider ce résultat, on a choisi pour la simulation le logiciel TRNSYS v.14.1 pour les divers avantages qu'il présente.

VII-1- Description du logiciel :

TRNSYS (TRaNsient System Simulation Program : programme de simulation de systèmes transitoires) est un logiciel multi zones de simulation en régime dynamique. Développé au laboratoire « solar energy » à l'université Wisconsin Madison. TRNSYS (version 14.1) est traité en fortran (sous DOS) Fig-VII-1-, et structuré de manière modulaire avec 50 modules environ.

Fig-VII-1- Ecran de control du logiciel TRNSYS sous MS-DOS

(Source: Liebard, De Herde, 1996)

[1] CHATELET. Alain, FERNANDEZ. Pierre et LAVIGNE. Pierre, __ *Architecture climatique Une contribution au développement durable Tome 2 Concepts et dispositifs*, _ EDITION EDISUD Aix-en-Provence, 1998, p133

Ce logiciel est construit à partir de l'interconnexion de plusieurs composants dont il facilite l'insertion de sous programmes, en permettant à l'utilisateur de créer lui-même ses propres composants. TRNSYS ou tout autre logiciel se caractérise par trois fonctions :

VII-1-1- Les entrées « inputs » :

Ce sont les données à introduire avec un niveau de définition minimum, qui seront nécessaires et pourront être stockées selon l'ergonomie du logiciel dans des bibliothèques que le concepteur peut utiliser. Elles concernent l'environnement physique (climat, site), le bâtiment (l'enveloppe), les apports internes (occupants, éclairage, ..) et les équipements (ventilation, chauffage et système de refroidissement).

VII-1-2- Traitement de données :

Le travail du logiciel consiste à structurer les données en fonction d'un « modèle de représentation du bâtiment » et de « modèles physico-mathématiques » des phénomènes physiques retenus, puis à produire des résultats.

VII-1-3- Les sorties « outputs » :

C'est l'ensemble des informations fournies par le logiciel à l'issu d'une exécution.

VII-2- Utilisation du logiciel TRNSYS :

Pour simuler le comportement thermique d'un bâtiment, il est nécessaire de disposer au moins de trois composants. Le premier est relatif aux données météorologiques, le second pour le calcul de l'ensoleillement de la paroi et le troisième traite les échanges de chaleur dans le bâtiment.

Ces trois composants nécessaires au lancement de la simulation sont identifiés dans TRNSYS par TRNWIN fichier météo, le fichier DECK (programme propre à la simulation) et le fichier BUI (description du bâtiment) par BUI Fig-VII-2-.

Les composants sont identifiés par leur type et le numéro d'unité :
Le type : (TYPE) défini le modèle utilisé, exemple le type 56 est le modèle du bâtiment multi zones.
L'unité : (UNIT) désigne le numéro du composant.
Chaque composant est défini par des paramètres, des données et des sorties Fig-VII-3-.

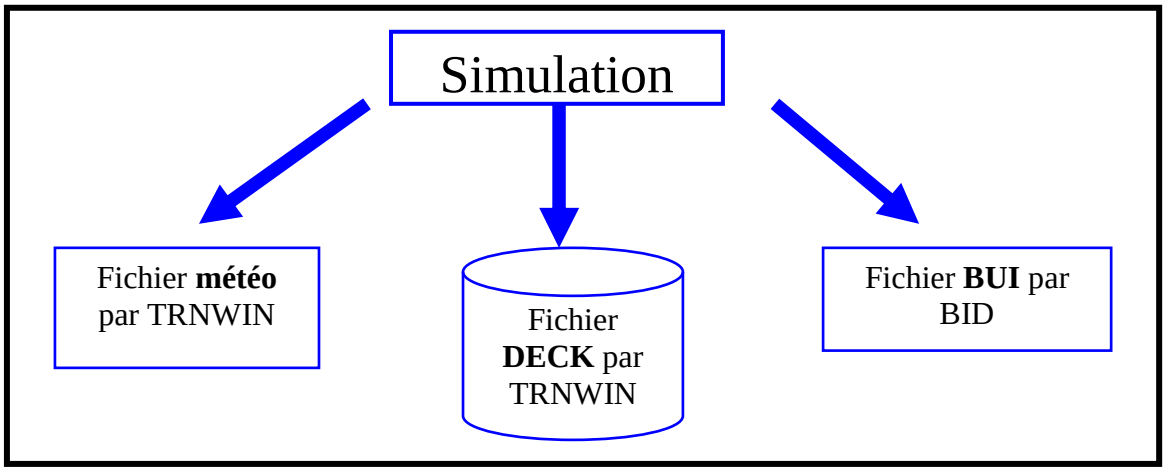


Fig-VII-2- Fichiers nécessaires au lancement de la simulation (Source : Auteur)

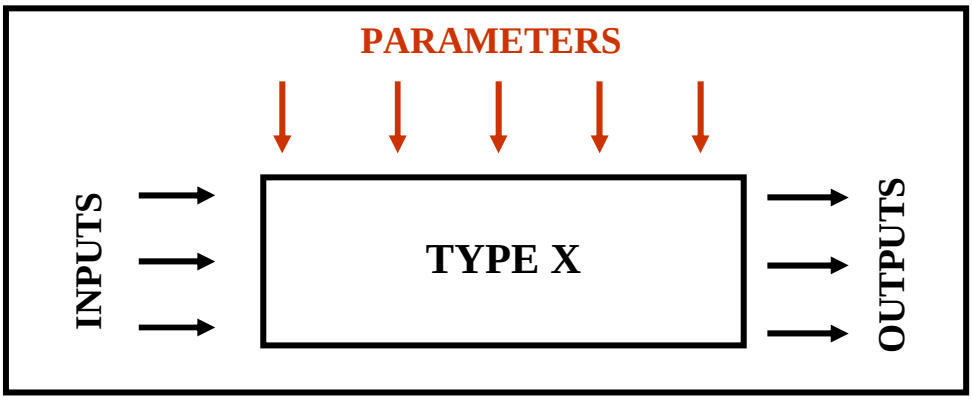


Fig-VII-3- Définition du type (Source : Auteur)

La déclaration « assign » permet d'affecter à un fichier une unité logique, exemple :

Assign\TRNWIN\ exemple\ ex1.lst 6

Assign\TRNWIN\ exemple\ meteo. dat 12

Assign\TRNWIN\ exemple\ ex1.res 14

Les numéros de 4 à 9 sont réservés aux unités logiques. Le numéro 6 liste les messages d'erreurs.

La déclaration « simulation » permet de définir le début, le pas du temps et la fin de simulation. Exemple :

SIM 1 1536 1

1 signifie le 1er janvier à 1h ;

1536 signifie le 5 mars à 24h ;

1 est le pas ou l'intervalle de temps.

Pour le début et la fin de la simulation, on a le 1er janvier à 1h correspond à 1, le 31 janvier à 24h correspond à 744, le 28 février à 24h correspond à 1416, le 31mars à 24h

correspond à 2160, le 30avril à 24h correspond à 2880, le 31 mai à 24h correspond à 3624, le 30juin à 24h correspond à 4344, le 31 juillet à 24h correspond à 5086, le 31 août à 24h correspond à 5832, le 30 septembre à 24h correspond à 6552, le 31 octobre à 24h correspond à 7296, le 30novembre à 24h correspond à 8016 et le 31 décembre à 24h correspond à 8760.

La déclaration « equation » assure l'insertion des équations dans le DECK.
La déclaration « end » donne la fin de la description.
Les types les plus utilisés dans la simulation du bâtiment sont :
TYPE 9 : lecteur de données;
TYPE 54 : générateur de données météorologiques;
TYPE 33 : diagramme psychrométrique;
TYPE 16 : processeur d'ensoleillement;
TYPE 56 : bâtiment multi zones;
TYPE 34 : occultation des fenêtres et murs;
TYPE 25 : impression des données;
TYPE 65 : affichage des résultats.

A partir des données introduites sur le descriptif du bâtiment et les données météo (figurantes dans le programme pour certaines villes), les résultats fournis par TRNSYS peuvent être sous forme d'histogrammes par le biais d'EXCEL donnant des consommations mensuelles ou annuelles. Numériques avec l'impression de différentes variables par pas de temps. Ou graphiques sous forme de diagrammes et chartes, comme l'estimation des masques par angles calculés[2] Fig-VII-4-, Fig-VII-5-.

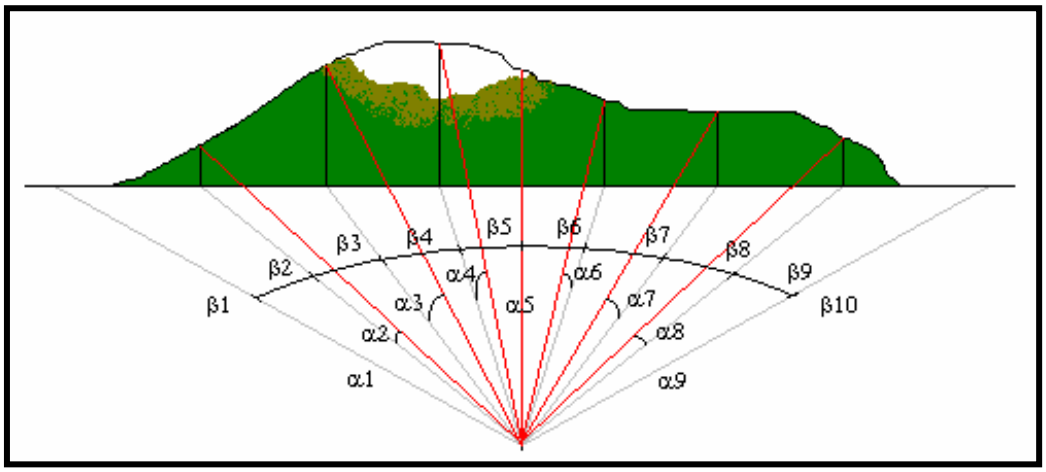


Fig-VII-4- Les masques dans TRNSYS avec angles calculés (Source:Werner Keilholz, 2001).

[2] KEILHOLZ. Werner, __ *Simuler directement à partir de la CAO; prise en compte des masques*, __ 4èmes journées TRNSYS francophones Lyon,10 Septembre2001SimCad1.3,_[En ligne] CSTB http://software .cstb.fr

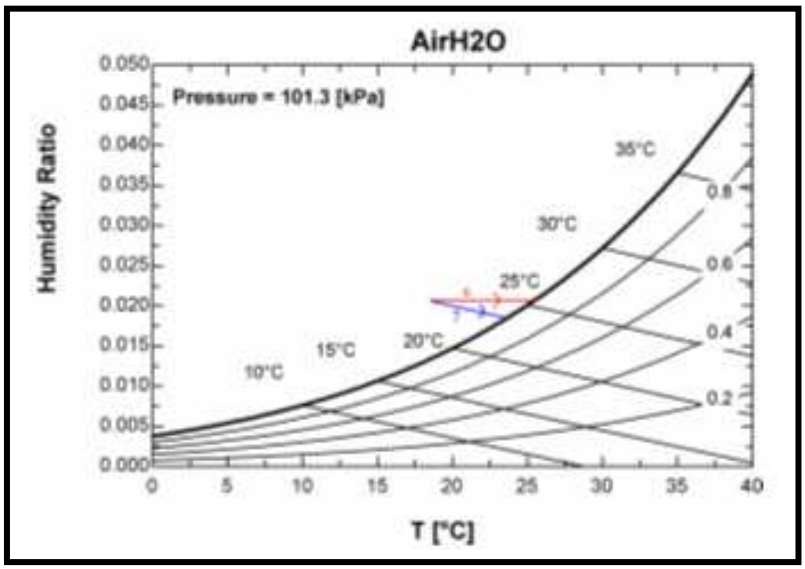


Fig-VII-5- Charte psychrométrique fournie par TRNSYS (source : www.tess-inc.com).

VII-3- Avantages du logiciel :

Grâce à son approche modulaire TRNSYS est extrêmement flexible pour modéliser un ensemble de systèmes thermiques à différents niveaux de complexité. L'accès au code source permet aussi aux utilisateurs de modifier ou d'ajouter des composants qui ne figurent pas dans la bibliothèque d'origine. Cela en offrant une vaste documentation des sous programmes y compris explication, usages usuels et équations de base. Enfin la définition de la période de la simulation est très souple avec le choix du pas de temps du début à la fin de la simulation.

VII-4- Inconvénients :

En revanche TRNSYS ne dispose pas de valeurs ou de systèmes par défaut, l'utilisateur doit possédé et introduire l'ensemble exhaustif de ses données définissant le bâtiment et le système. D'autre part le modèle initial de bâtiment proposé dans le logiciel TRNSYS, le TYPE 56 'Multizone Building' utilise la méthode des fonctions de transfert pour déterminer la réponse thermique d'une paroi. BAHRI. S en 1994 a mis en évidence que cette méthode pose des problèmes pour des bâtiments à forte inertie.[3] Gilles FRAISSE en 1997 ajoute que ce modèle (Type 56) ne fonctionne pas avec un pas de temps quelconque. Ceci est un réel problème lorsque l'on étudie par exemple un système de régulation.[4]

[3] BAHRI. S, GHRAB-MORCOS. N et EHINGER. P, __ *Utilisation des fonctions de transfert pour déterminer la réponse thermique d'une paroi de forte inertie*, __ European conference on energy performance and indoor climate in buildings, Lyon, November 1994, p132-137.

[4] FRAISSE. G, __ *La régulation thermique des bâtiments tertiaires: application de la logique floue à la régulation centrale du chauffage en régime intermittent*. Thèse de doctorat : INSA de Lyon. 1997, p 166.

VII-5- Les progrès actuels de TRNSYS :

En plus de la version 14.1 TRNSYS est développé actuellement sous d'autres versions, 15 et 16 et traité même sous windows. Il assure le couplage avec d'autres logiciels comme EDIBATEC, EES, AUTOCAD, MATLAB, EXCEL CFD Fig-VII-6- [5]. Ce qui permet de définir d'autres types comme le type 155[6] issu du couplage TRNSYS et MATLAB. A savoir que les sous programmes les plus traités avec TRNSYS sont :

- IISiBat : la face graphique finale de TRNSYS ;
- PREBID : outil graphique d'introduction des données du bâtiment ;
- TRNSED / TRNSHELL: outil de division de simulations avec sous utilisation, et environnement du bâtiment TRNSYS- applications de base ;
- SimCad: CAD outil de Simulation du bâtiment (add-on product).

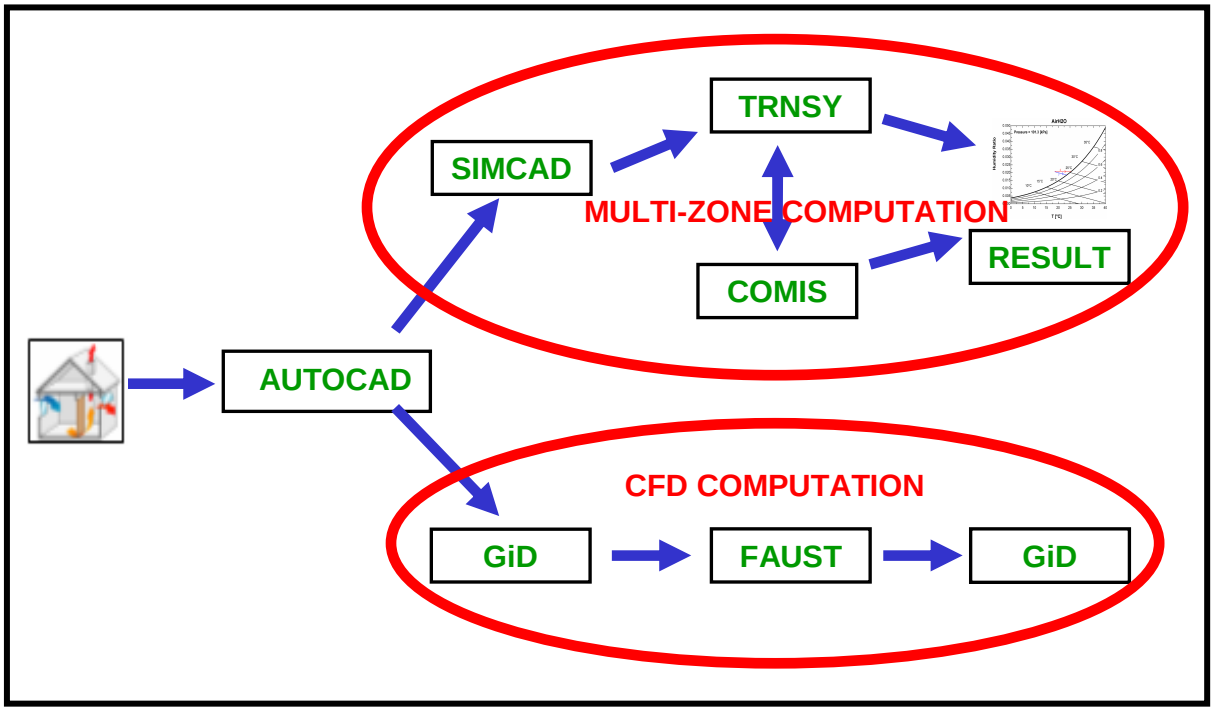


Fig-VII-6- Couplage avec des outils de vision initial (Source : www.asp-bp.org).

[5] STEDI Project Coupling TRNSYS and CFD for building simulation TRNSYS User day – 24/03/2003 Sophia-Antipolis, France Application service provision –Best practice, __ [En ligne] www.asp-bp.org

[6] Type 155 – un nouveau type TRNSYS pour coupler TRNSYS et MATLAB Exemple d'application W. Keilholz, M. Kummert, P. Riederer, _ [En ligne] http://sel.me.wisc.edu/trnsys/

A partir de TRNSYS il se peut même y dérivé d'autres programmes comme TRNSYS lite qui est une interface de TRNSYS 15. Ce dernier offre une utilisation rapide, facile et dynamique simulation de la zone thermique.[7] TRNSCLIMA est aussi un programme dérivé qui prévoit l'année typique, et les conditions du temps à l'extérieur comme l'irradiation solaire (directe et diffuse), la température et l'humidité ambiante.[8]

VII-6- Déroulement de la simulation:

Le déroulement de la simulation avec le logiciel TRNSYS V.14 a pris comme chemin trois étapes importantes.

La première concerne la programmation et l'établissement d'un programme global. Dans ce dernier, on a d'abord commencé par l'introduction des données météorologiques de la ville de Guelma, car elles ne figurent pas dans la bibliothèque du TRNSYS; puis l'insertion des valeurs horaires de températures et d'humidités relatives pour la période d'été et celle d'hiver. Ensuite la description détaillée des deux pièces ainsi que les scénarios de leur occupation dans deux fichiers (TRNWIN et BID) (voir annexe -VII-). La deuxième étape concerne le traitement des données après programmation. Enfin et en dernière étape, c'est faire sortir les résultats de la simulation par le biais du logiciel EXEL.

Pour valider le rôle de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique, on s'est limité à l'évaluation de la température intérieure des deux pièces étudiées, leur humidité relative et les températures surfaciques internes et externes de la paroi extérieure. Signalons que ces deux températures ont été évaluées juste pour vérifier leurs valeurs déjà calculées par faute d'appareillage. Aussi, dans le but de rechercher les caractéristiques de la paroi performante, une évaluation a été développée en changeant le matériau initial (la pierre), l'épaisseur et en introduisant un isolant.

[7] [En ligne] http://www.transsolar.com.
[8] TRNSCLIMATime Series of Meteorological Data for System SimulationRegion: Iberia Version1.0 [En ligne] : www.aiguasol.com

VII-6-1- Période estivale en R.D.C:

VII-6-1-1* Comparaison entre les températures intérieures mesurées et celles simulées par TRNSYS :

Les courbes de la Fig-VII-7- révèlent une concordance entre la température modélisée et la température moyenne intérieure issue des séries de mesures dans la pièce du R.D.C. L'écart maximal entre les deux températures est de 1.88°C, enregistrée à minuit. Ce-ci affirme l'efficacité et l'utilité des mesures in situ.

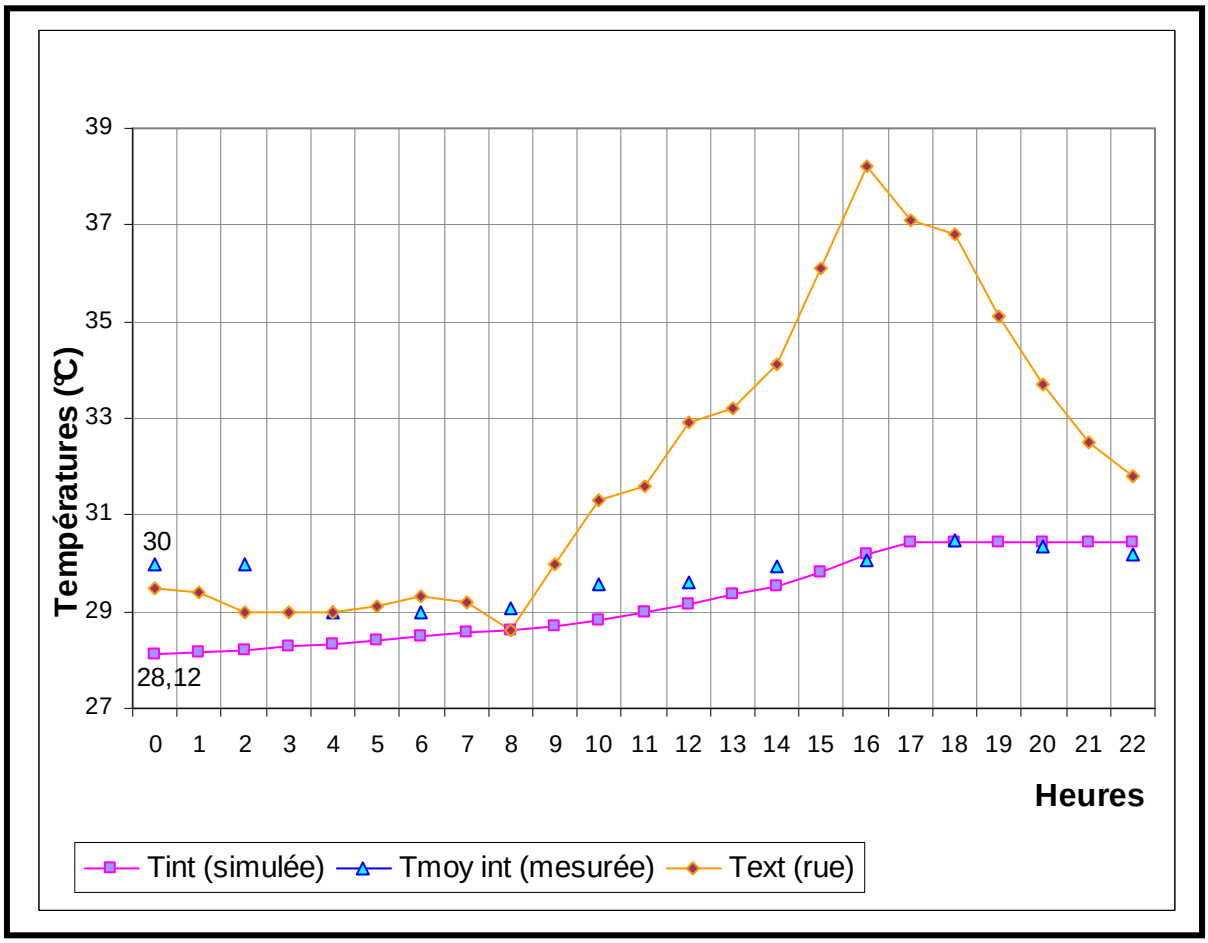


Fig-VII-7- Comparaison entre les températures moyennes intérieures et extérieures mesurées et les températures intérieures simulées en R.D.C: période été, journée 18/08/2004

La courbe de la température intérieure simulée montre même une élévation de la performance thermique de la paroi de minuit à 4h du matin.

VII-6-1-2* Vérification des températures surfaciques calculées de l'investigation avec celles simulées par TRNSYS :

Pour vérifier les calculs des températures surfaciques internes et externes de la paroi, effectuées dans l'investigation par faute d'appareillage, la Fig-VII-8- montre que les valeurs sont égales et les courbes sont identiques (superposées).

La figure affirme la performance de la paroi avec une température surfacique externe maximale de 71.88°C, atteinte à 14h contre une température surfacique maximale interne seulement de 30.9°C atteinte à 18h. Soit un écart de 40.98°C.

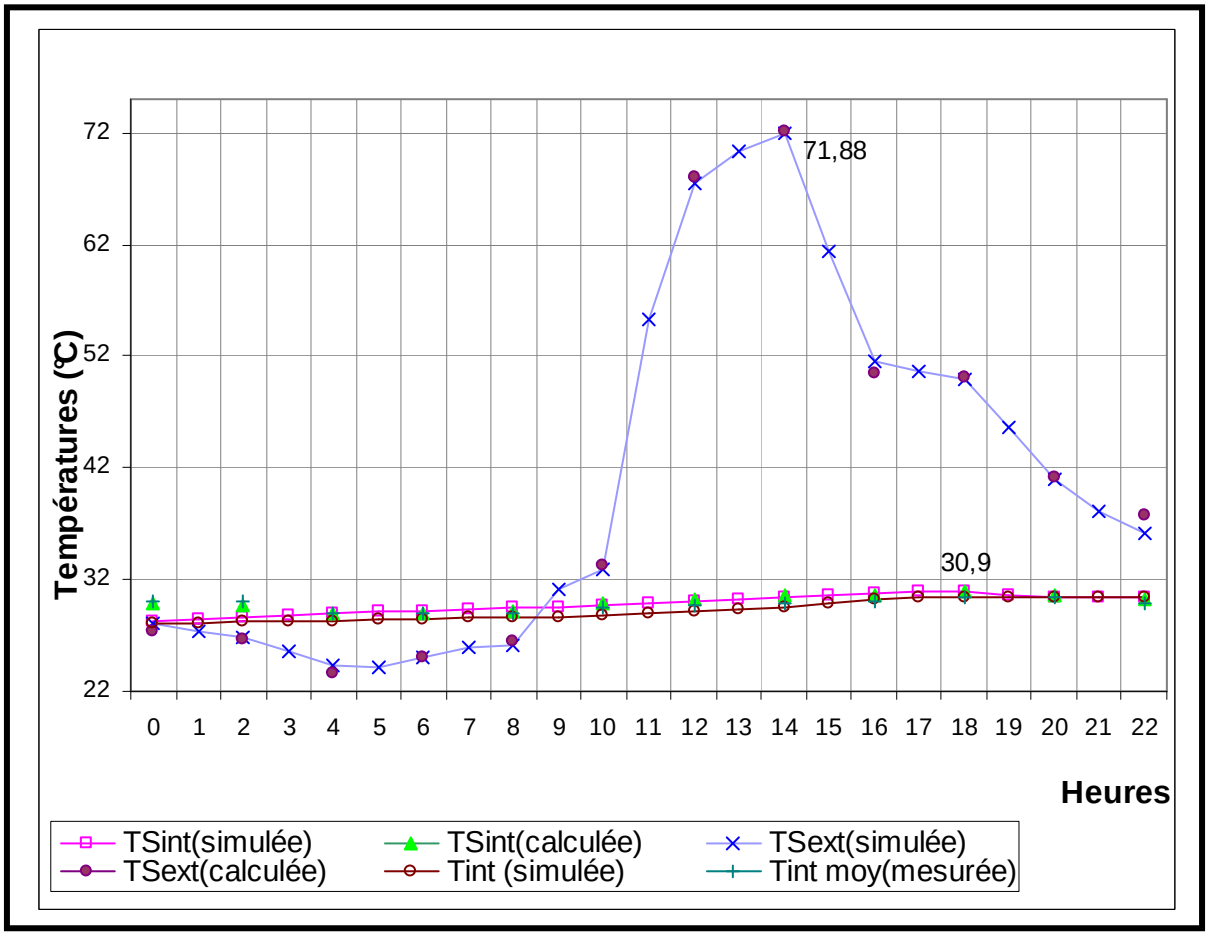


Fig-VII-8- Vérification des températures moyennes surfaciques internes et externes calculées de l'investigation avec les températures surfaciques internes et externes simulées: période été, journée 18/08/2004

La température de surface interne de la paroi est surtout liée à la bonne qualité thermique du matériau utilisé. Ces résultats sont en accord avec ceux de Taha, Akbari, Rosenfeld, Huang, 1998 et J Cheng, Givoni, Araujo Prado, Ferreira, 2005.

VII-6-1-3* Comparaison entre les humidités relatives mesurées et celles simulées par TRNSYS :

Presque une convenance des histogrammes de la Fig-VII-9- entre les valeurs des humidités mesurées et celles des humidités simulées par TRNSYS. L'écart maximal entre les deux humidités est de 2.95% enregistrée à 14h, malgré que l'écart entre les valeurs de températures à cette heure n'est que 0.41°C. Ce-ci revient à la précision de + / - 5% du hygromètre qu'on a utilisé pour les mesures de l'humidité intérieure.

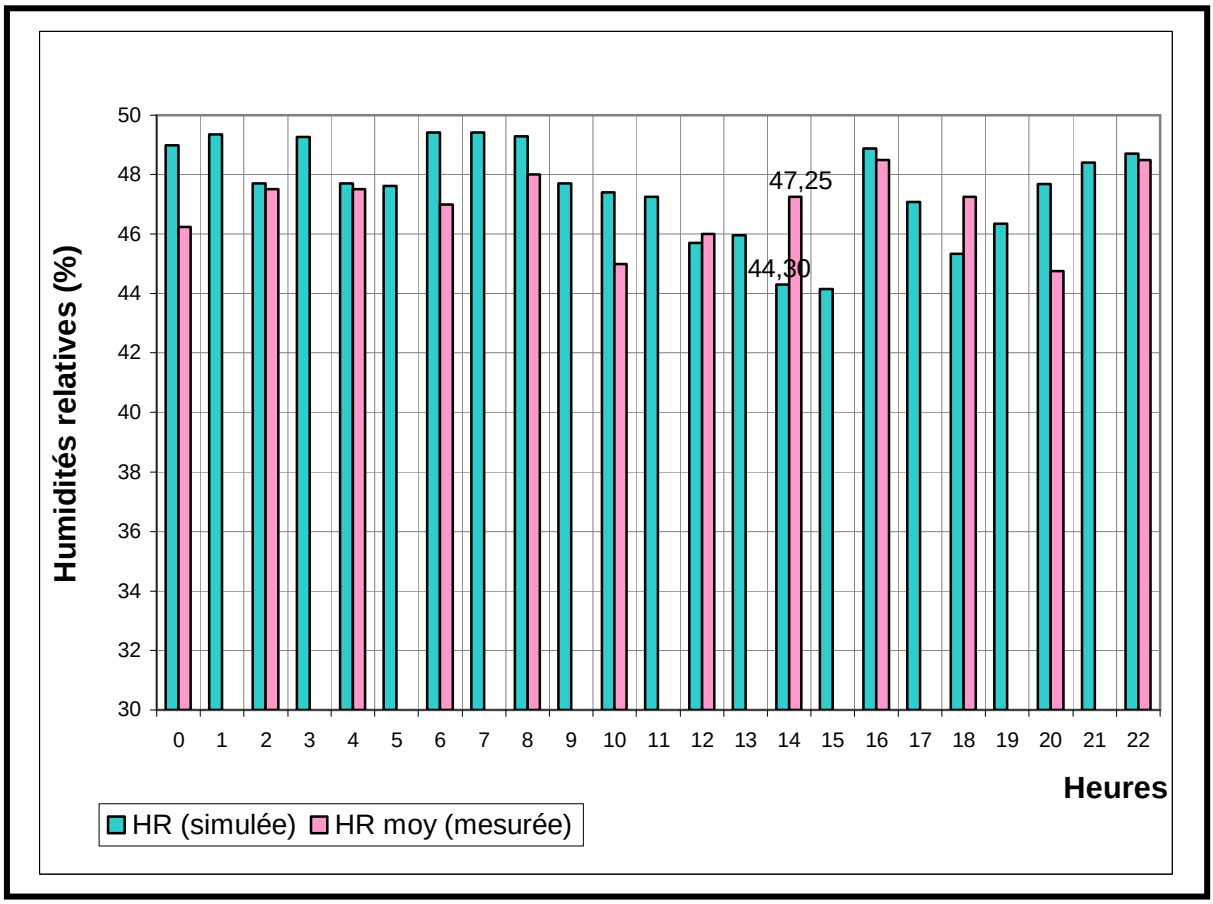


Fig-VII-9- Comparaison entre les humidités relatives moyennes intérieures mesurées et les humidités relatives intérieures simulées en R.D.C: période été, journée 18/08/2004.

Donc, de cette validation des résultats de l'investigation par TRNSYS concernant la température intérieure, et l'humidité de l'air ambiant de la pièce du R.D.C, on peut réaffirmé le rôle de l'inertie thermique dans le maintient de l'équilibre hygrothermique intérieur. Rejoignant par ça plusieurs résultats de simulation de E. Shaviv et al, 1996, E.Shaviv, Yezioto, et al, 2001, C.S.TB, 2004 (Voir chapitre -IV-).

VII-6-2- Période estivale à l'étage:

VII-6-2-1* Comparaison entre les températures intérieures mesurées et celles simulées par TRNSYS :

Pour la pièce d'étage les courbes de la Fig-VII-10- n'indiquent pas une grande différence entre les valeurs de la température simulée et la température moyenne intérieure mesurée. L'écart maximal entre les deux températures est de 1.22°C, enregistrée à minuit. En plus la courbe de la température intérieure simulée montre une élévation de la performance thermique de la paroi et du toit de minuit à 4h et de 6h à 15h de l'après midi.

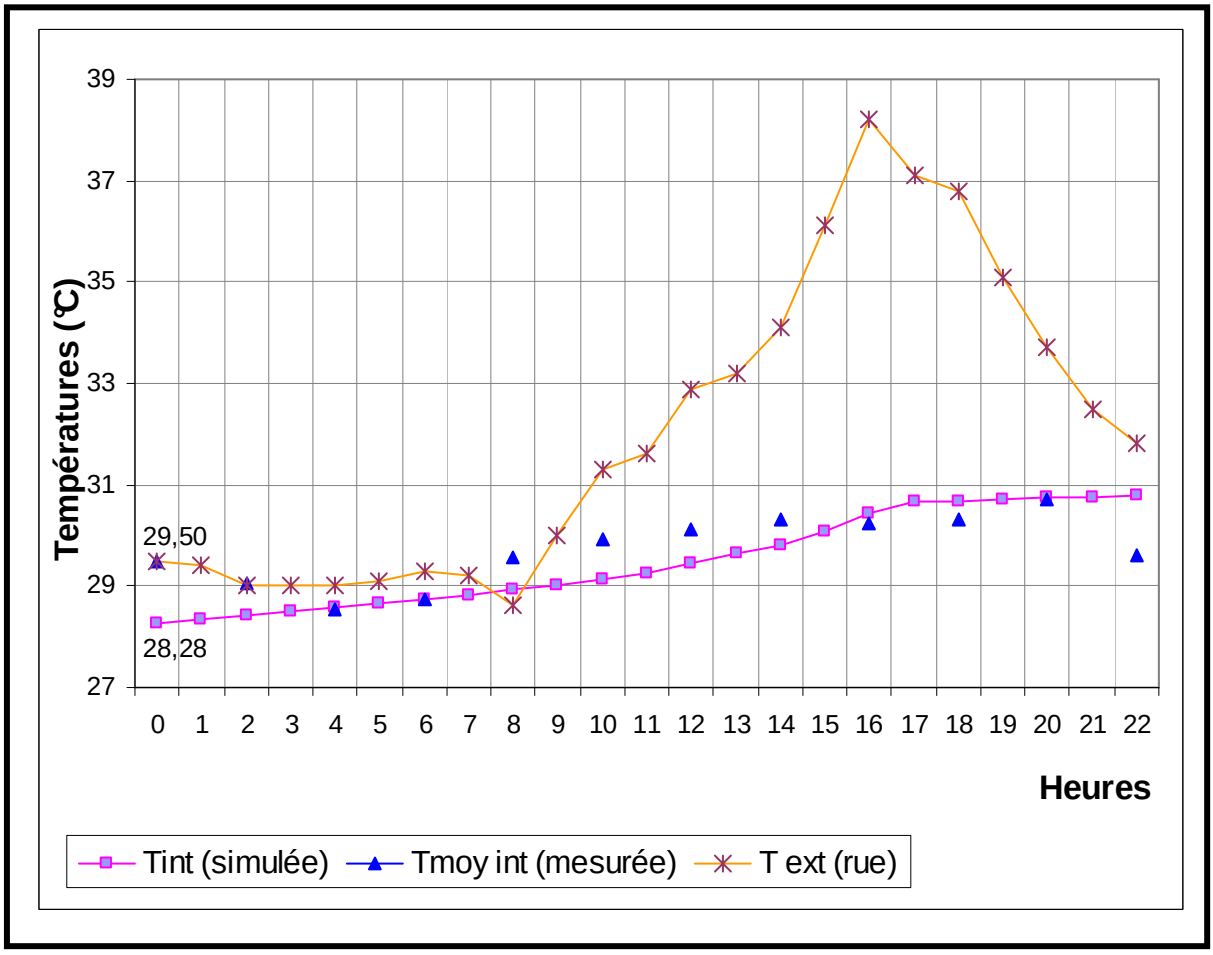


Fig-VII-10- Comparaison entre les températures moyennes intérieures et extérieures mesurées et les températures intérieures simulées à l'étage: période été, journée 18/08/2004.

VII-6-2-2* Comparaison entre les humidités relatives mesurées et celles simulées par TRNSYS :

Les résultats de la simulation dans la pièce d'étage sont semblables à celle du R.D.C. Les histogrammes de la Fig-VII-11- révèlent un écart max de 2.96% enregistré à 14h entre les valeurs des humidités mesurées et celles des humidités simulées par TRNSYS. L'écart entre les valeurs de températures enregistré à cette heure n'est que 0.48°C. Ce ci revient aussi à la précision du hygromètre utilisé.

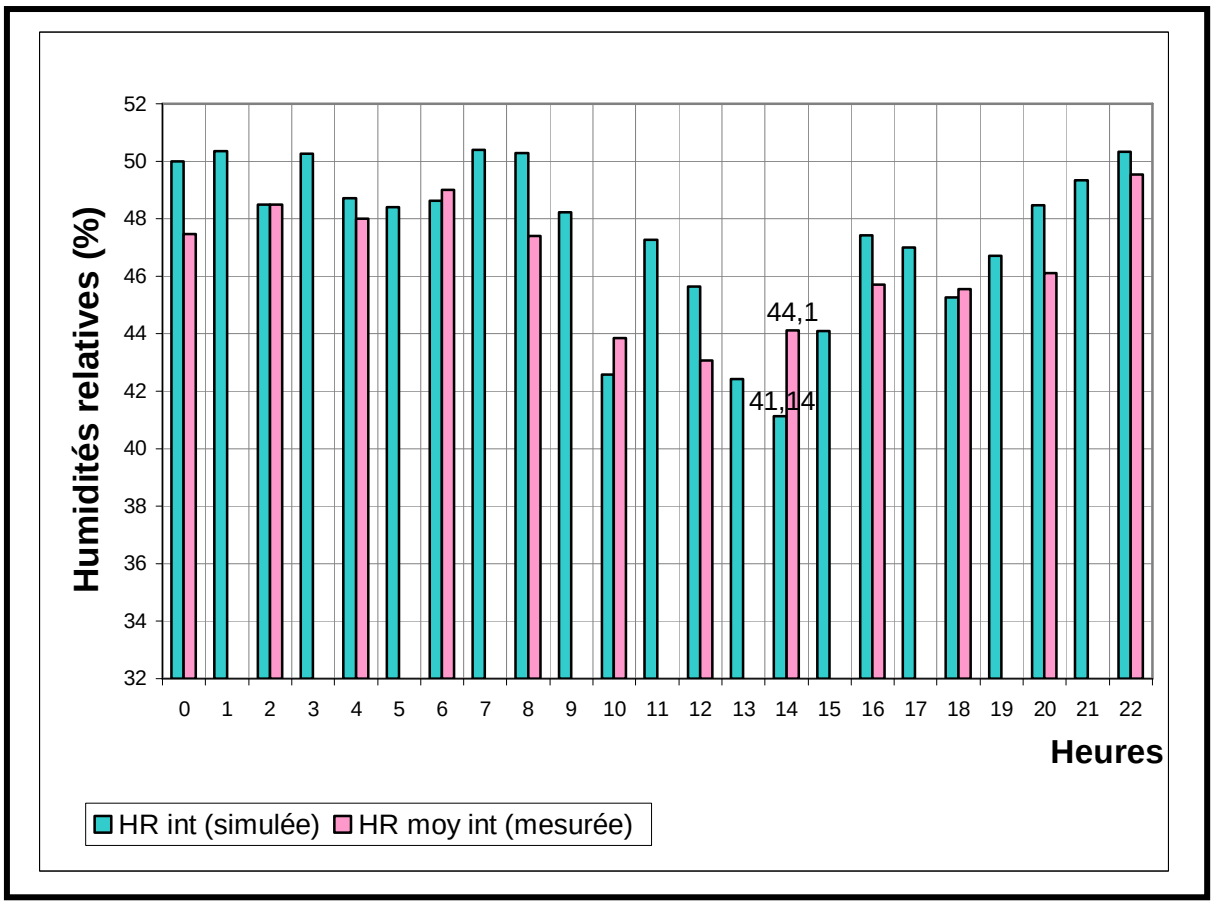


Fig-VII-11- Comparaison entre les humidités relatives moyennes intérieures mesurées et les humidités relatives intérieures simulées à l'étage période été, journée 18/08/2004.

Donc les résultas de la simulation valident les résultats de l'investigation dans la pièce en étage. Grâce à l'inertie thermique de son enveloppe (paroi et toiture) l'équilibre hygrothermique est assuré en été avec des valeurs de températures et d'humidités intérieures stables, comparées à celles de l'extérieur.

VII-6-3- Période hivernale en R.D.C:

VII-6-3-1* Comparaison entre les températures intérieures mesurées et celles simulées par TRNSYS :

La comparaison entre les courbes de températures simulées et les courbes de températures mesurées pour la période d'hiver, révèle une concordance presque parfaite entre les deux températures surtout de minuit à 7h du matin. De 8h à 14h, la température simulée dépasse celle mesurée et marque un écart max de1.30°C à 10h du matin Fig-VII-12- Cet écart entre les deux températures revient aux tâches ménagères qui non pas été introduites dans le programme de simulation, et qui font baisser la température intérieure.

Au-delà l'écart entre les deux températures est très réduit, ce qui permet de valider l'interprétation des mesures sur site.

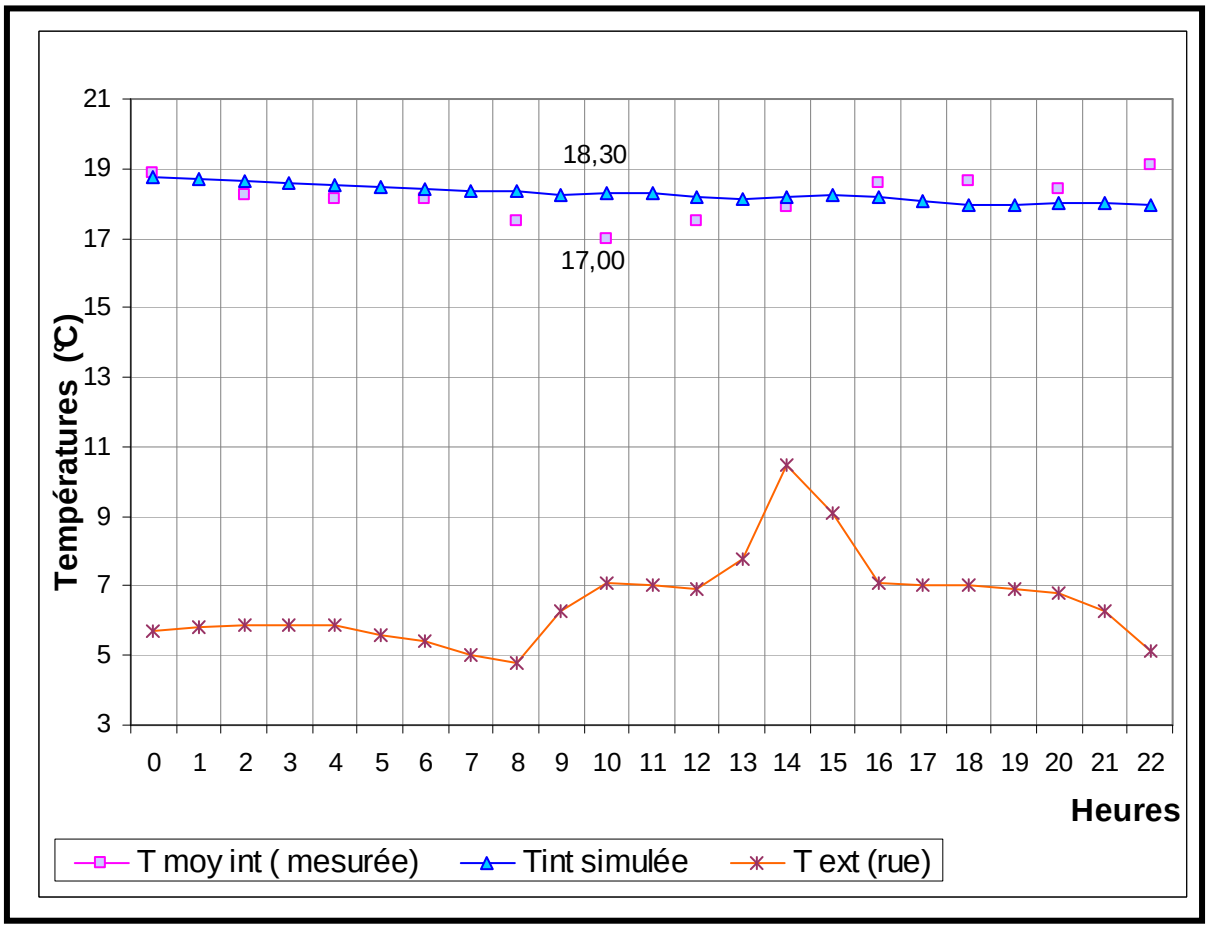


Fig-VII-12- Comparaison entre les températures moyennes intérieures et extérieures mesurées et les températures intérieures simulées en R.D.C: période hiver, journée 29/01/2005.

VII-6-3-2* Vérification des températures surfaciques calculées de l'investigation avec celles simulées par TRNSYS :

La vérification des calculs de températures surfaciques internes et externes de la paroi pour la période d'hiver, la Fig-VII-13- ci après montre que ces derniers sont justes. Les valeurs égales des deux températures donnent des courbes superposées.

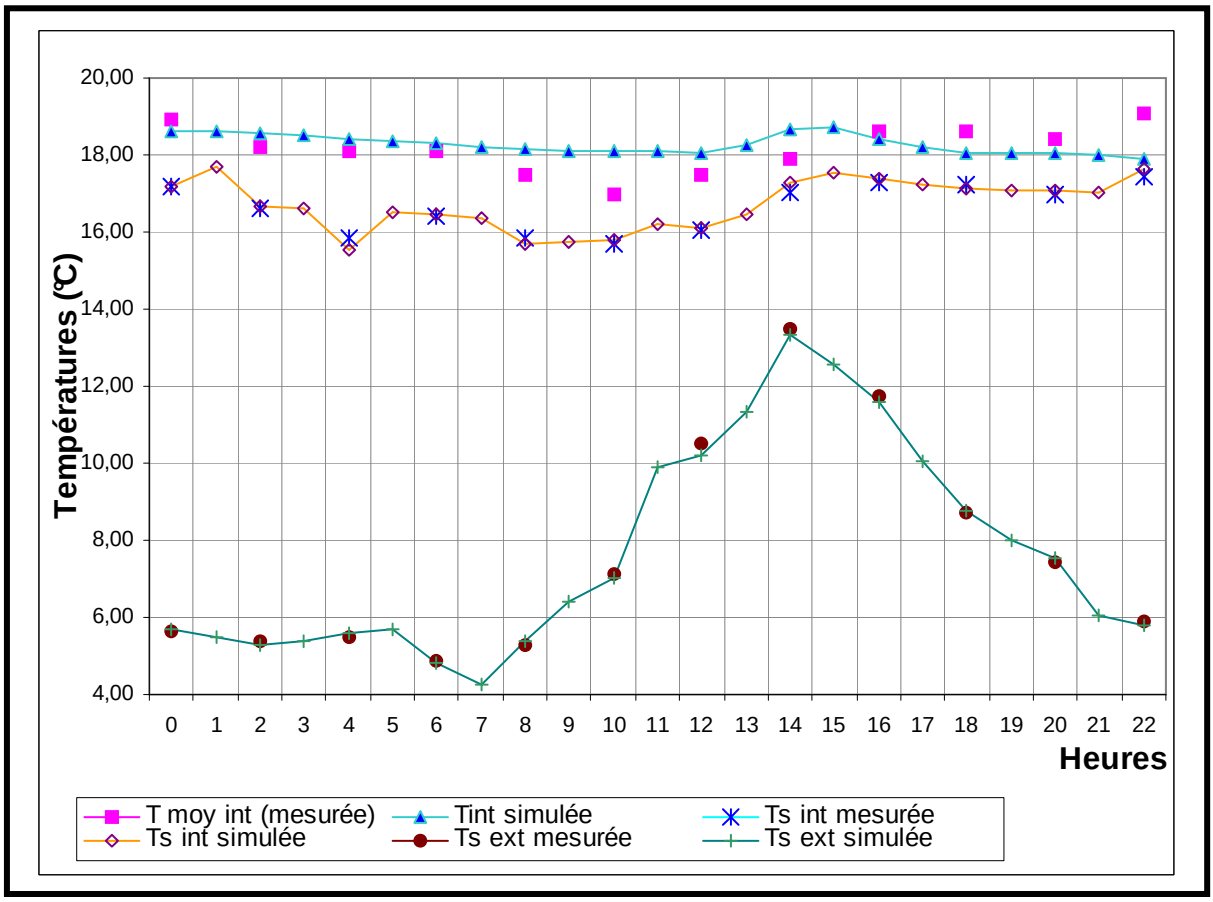


Fig-VII-13- Vérification des températures moyennes surfaciques internes et externes calculées de l'investigation avec les températures surfaciques internes et externes simulées: période hiver, journée 29/01/2005.

VII-6-3-3* Comparaison entre les humidités relatives mesurées et celles simulées par TRNSYS :

D'après la Fig-II-14- l'humidité mesurée dépasse celle simulée en toutes heures du jour, excepté à 10h. L'écart maximal entre les deux humidités est de 3.25% enregistré à 20h.

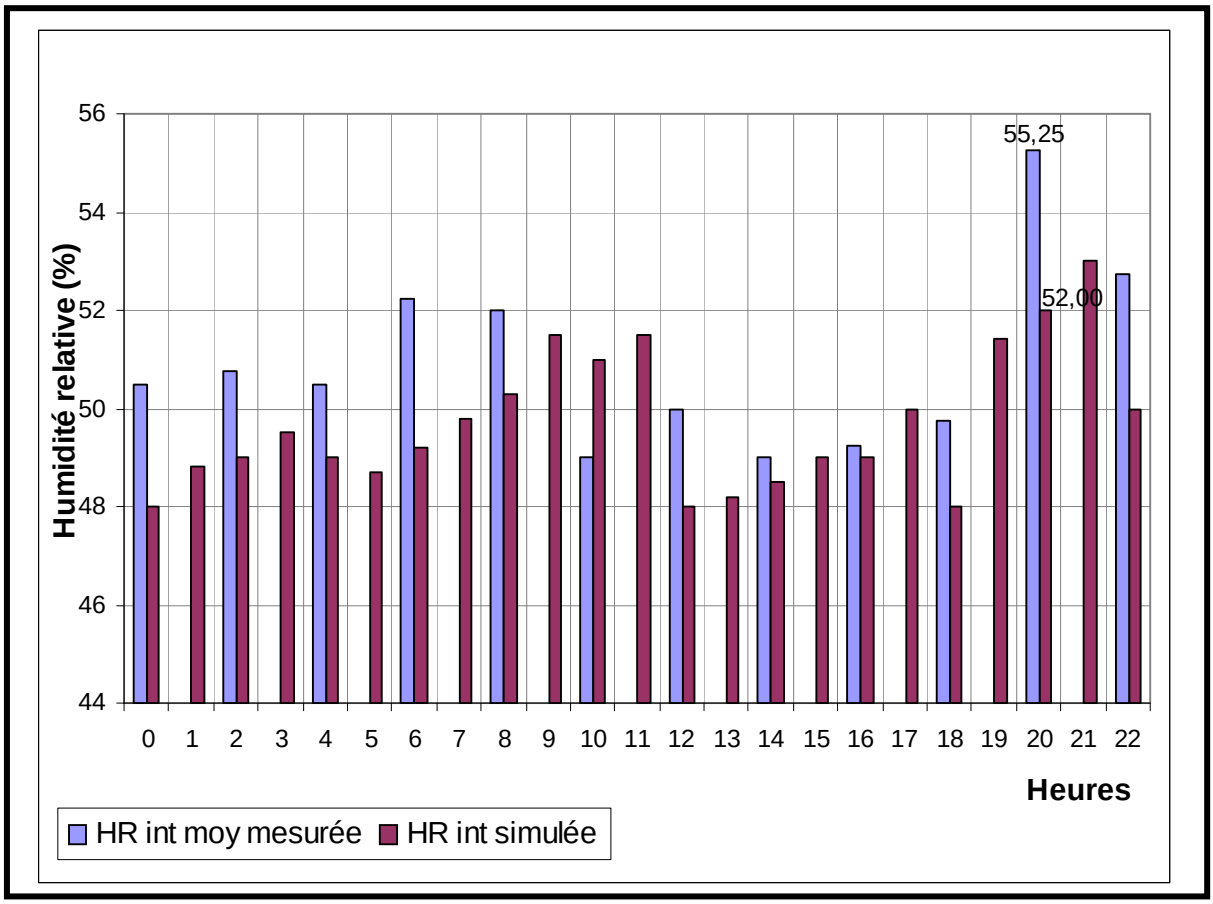


Fig-VII-14- Comparaison entre les humidités relatives moyennes intérieures mesurées et les humidités relatives intérieures simulées en R.D.C: période hiver, journée 29/01/2005.

Malgré que l'écart n'est pas aussi important, mais les valeurs d'humidités d'après l'investigation sont comme même élevées. Ce-ci s'explique par la fiabilité du hygromètre, surtout que ce dernier a été utilisé pour les mesures de l'humidité extérieure et intérieure en même temps. Comme c'est l'hiver, les humidités extérieures sont très élevées par rapport à celles de l'intérieur, de l'extérieur à l'intérieur, l'hygromètre met un certain temps pour afficher la valeur exacte. Mais on peut dire que ces résultats valident l'interprétation des mesures sur terrain puisque l'écart ne dépasse pas les 3.25%. En plus les résultats montrent une amélioration de la performance de la paroi dans le maintient de l'équilibre hygrométriques avec des valeurs d'humidité inférieures.

Alors ces résultats valident aussi le rôle de l'inertie thermique dans le confort intérieur en hiver. D'une part avec le maintient de la stabilité des températures internes et surfaciques internes de la paroi, et d'autre part par l'équilibre hygrométrique de l'air ambiant dans la pièce du R.D.C.

VII-6-4- Période hivernale à l'étage:

VII-6-4-1* Comparaison entre les températures mesurées et celles simulées par TRNSYS :

La courbe de la température simulée comparée à celle de la température mesurée révèle une convenance parfaite de minuit à 8h du matin Fig-VII-15-. Au-delà la température simulée dépasse celle mesurée et affirme une amélioration de la performance thermique de la pièce. L'écart max de 1.73°C est enregistré à 10h, moment des tâches ménagères (non introduites dans le programme de simulation) qui font baisser la température intérieure.

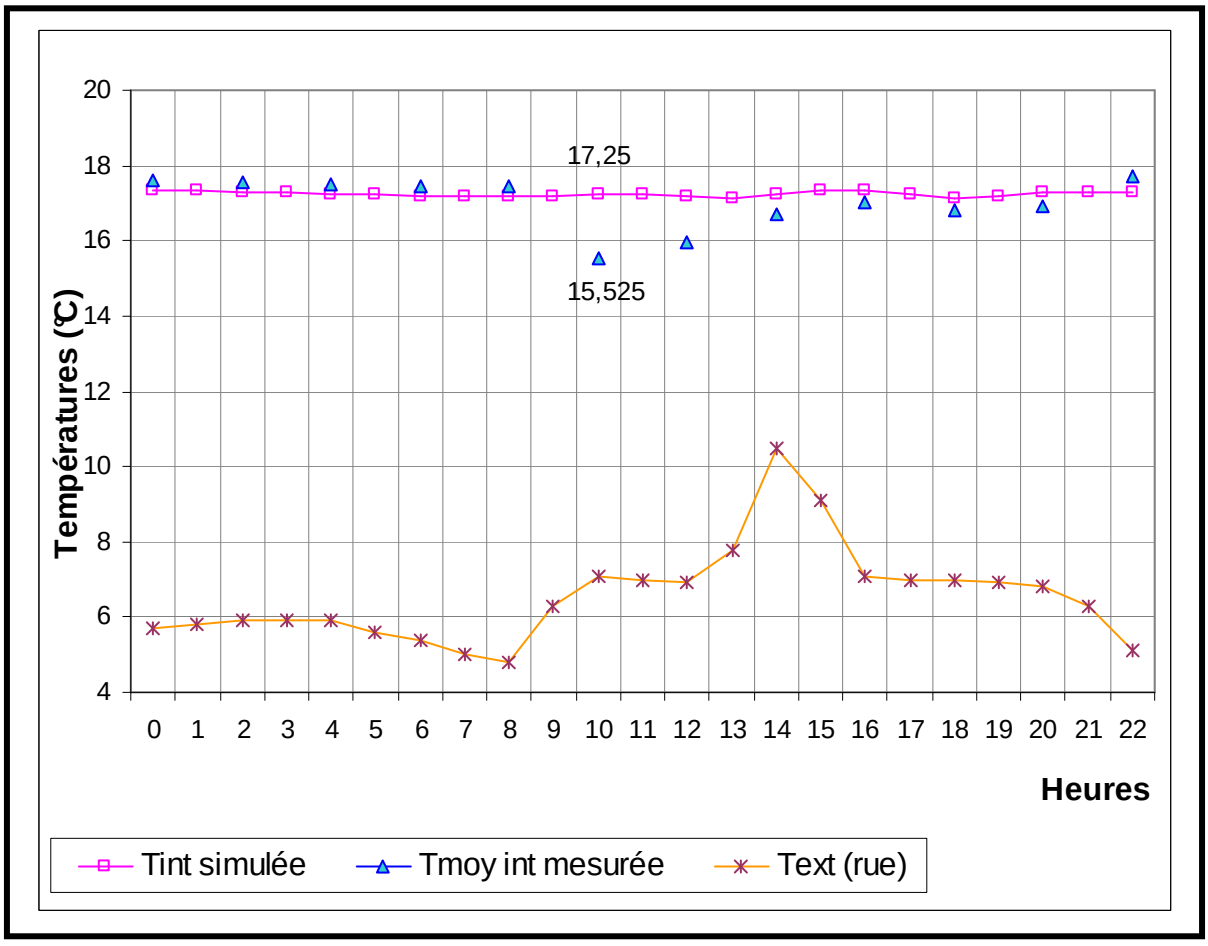


Fig-VII-15- Comparaison entre températures moyennes intérieures et extérieures mesurées et températures intérieures simulées en étage: période hiver, journée 29/01/2005.

Encore ces résultats valident les mesures sur terrain et insistent sur le rôle important que joue l'inertie thermique de l'enveloppe par sa capacité d'assurer les facultés d'isolation de l'extérieur contre le froid d'hiver. La paroi de la pièce agit comme celle du R.D.C en limitant la variation de la température, et en diminuant les pertes de la chaleur intérieure La toiture protège aussi du froid en retardant sa pénétration à l'intérieur (vide sous comble).

VII-6-4-2* Comparaison entre les humidités relatives mesurées et celles simulées par TRNSYS :

Les histogrammes de l'humidité à l'intérieur de la pièce d'étage Fig-VII-16- présentent un écart max de 3.1%, enregistré à 10h entre les valeurs des humidités mesurées et celles des humidités simulées par TRNSYS. Cet écart est dû aussi aux tâches ménagères pratiquées à cette heure, qui font augmenter l'humidité intérieure. Bien que, si on considère la précision du hygromètre de + / - 5%, ces résultats valident ceux de l'investigation, plus d'une amélioration du confort hygrométrique avec des valeurs inférieures de l'humidité, atteintes de 10h à 22h.

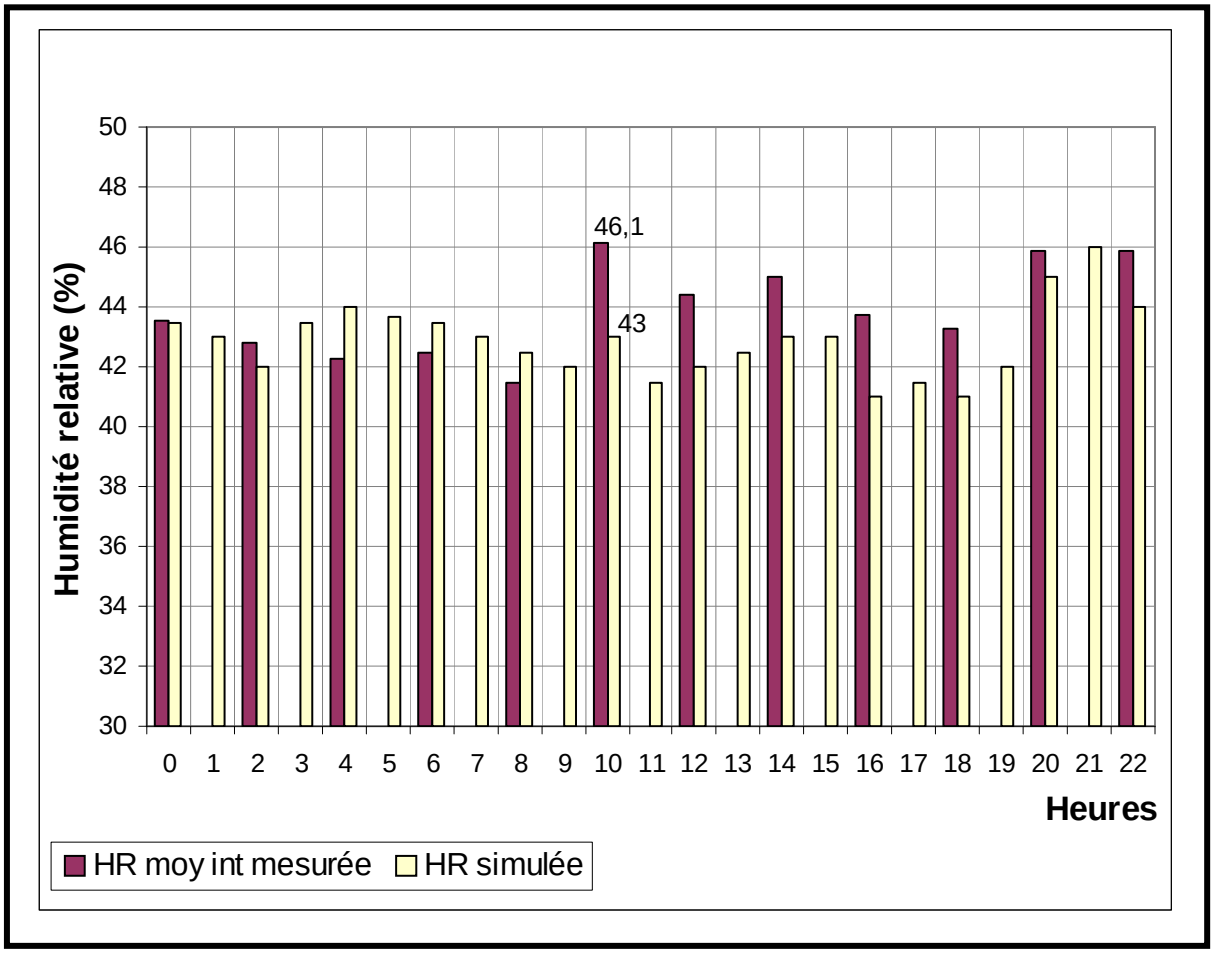


Fig-VII-16- Comparaison entre les humidités relatives moyennes intérieures mesurées et les humidités relatives intérieures simulées à l'étage: période hiver, journée 29/01/2005.

Alors en été comme en hiver, la simulation valide les résultats de l'investigation sur le rôle de l'inertie thermique dans l'assurance du confort hygrothermique. Soutenant encore par ça l'avis de plusieurs chercheurs comme celui d'Izard 93 sur le rôle de la forte inertie.

VII-6-5- Changement des paramètres :

Afin d'aboutir aux meilleurs résultats avec le changement des paramètres, la simulation s'est limitée à la quantification de la température intérieure dans la pièce du R.D.C durant la période estivale. D'une part que la température est le facteur le plus dominant dans la sensation du confort hygrothermique. D'autre part la période estivale constitue la période la plus défavorable de l'année, vu que durant l'hiver, le chauffage d'appoint utilisé participe au maintien de l'équilibre thermique. Cependant, la recherche des caractéristiques de la paroi type avec son inertie thermique optimale a été évaluée en testant l'effet du matériau, l'épaisseur de la masse thermique et de la lame d'air, l'isolant et la couleur sur sa performance thermique.

VII-6-5-1* Effet du matériau :

Pour vérifier l'effet du matériau sur la température intérieure dans la pièce du R.D.C, une comparaison a été effectuée entre la pierre (travertin), la brique creuse et le parpaing. La configuration initiale de la paroi extérieure est gardée la même, c'est-à-dire sans le changement des autres paramètres (épaisseur, lame d'air, couleur..) Fig-VII-17-.

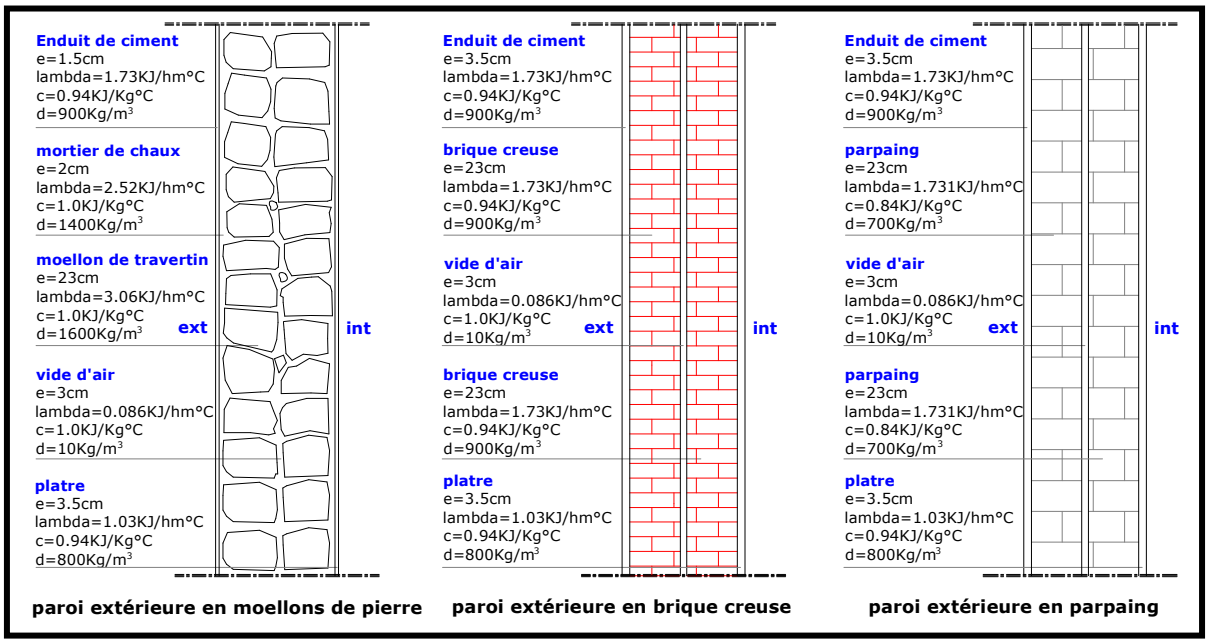


Fig-VII-17- Configuration de la paroi extérieure : cas des trois matériaux pour une épaisseur totale de 56cm (Source : Auteur).

Les courbes de la température ambiante Fig-VII-18- montrent l'effet important du matériau. La pierre (travertin) donne la meilleure performance avec un minimum de température de 28.12°C atteint à minuit et un maximum de 30.42°C atteint à 18h. Soit une amplitude de 2.30°C. La brique creuse enregistre une température minimale de 28.79°C à minuit et une température maximale de 31.73°C à 22h, marquant une amplitude de 2.94°C. Le parpaing donne la mauvaise réponse thermique comparé à la pierre et à la brique creuse avec un minimum de température de 29.02°C à minuit et un maximum de 32.21°C à 22h. L'amplitude de température ambiante enregistrée le cas du parpaing est de 3.19°C.

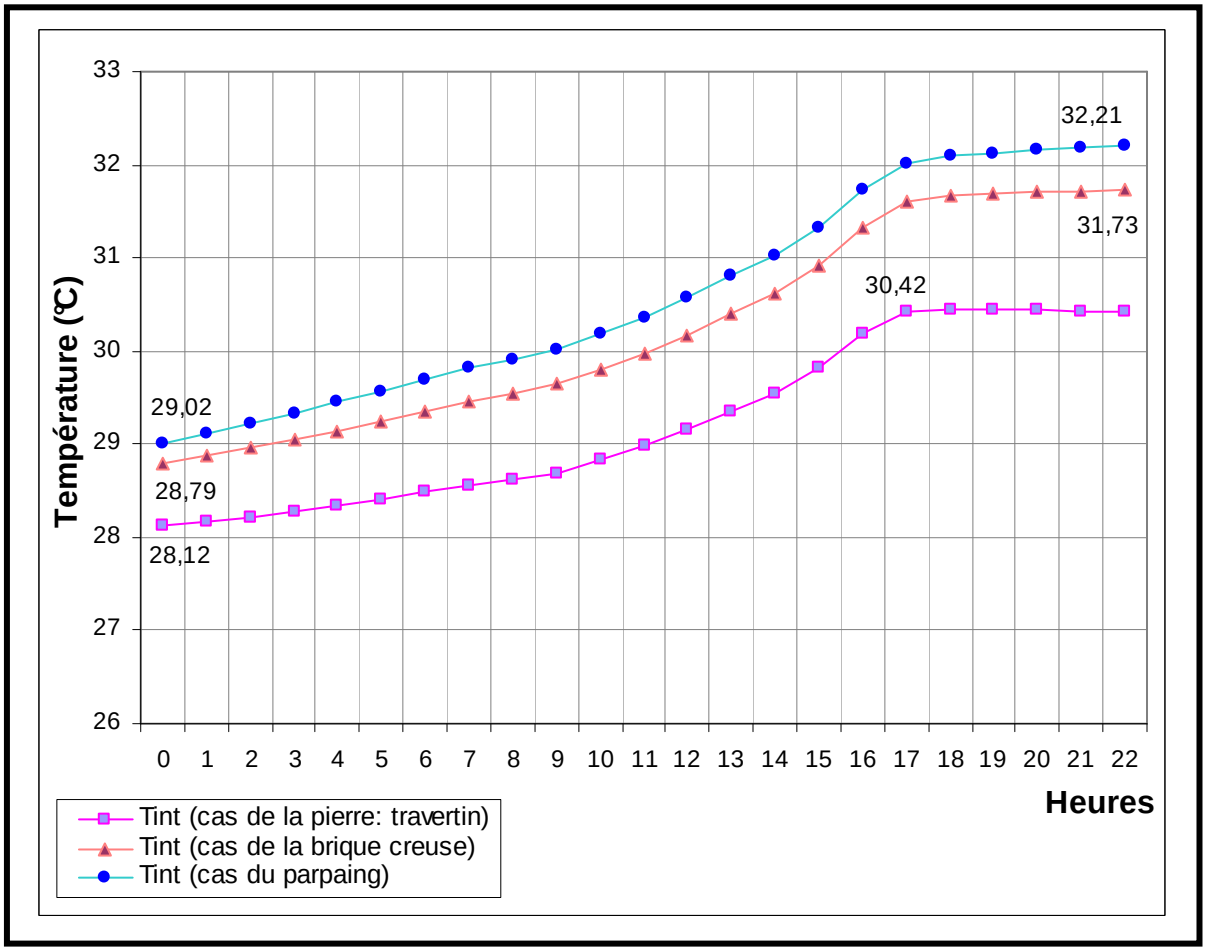


Fig-VII-18- Variation de la température intérieure simulée en changeant le matériau de la paroi extérieure.

Donc le travertin offre des réponses très positives en terme d'inertie et de régulation thermique grâce à ses qualités intrinsèques. Ses nombreuses alvéoles de section réduite favorisent le pouvoir isolant de l'air, en ralentissant les mouvements de convection dans les cavités. En plus c'est un matériau plus dense comparé à la brique creuse et au parpaing qui ont des densités inférieures et des cavités moins nombreuses, de section importantes.

VII-6-5-2* L'effet de l'épaisseur:

VII-6-5-2* a/ L'effet de l'épaisseur de la masse thermique :

L'évaluation de l'effet de l'épaisseur de la masse thermique sur la température ambiante a été établie par une comparaison entre trois épaisseurs différentes : 56, 40 et 30cm. Cette comparaison a été répétée pour les trois matériaux : la pierre, la brique creuse et le parpaing en gardant la même épaisseur des enduits et de la lame d'air Fig-VII-19-.

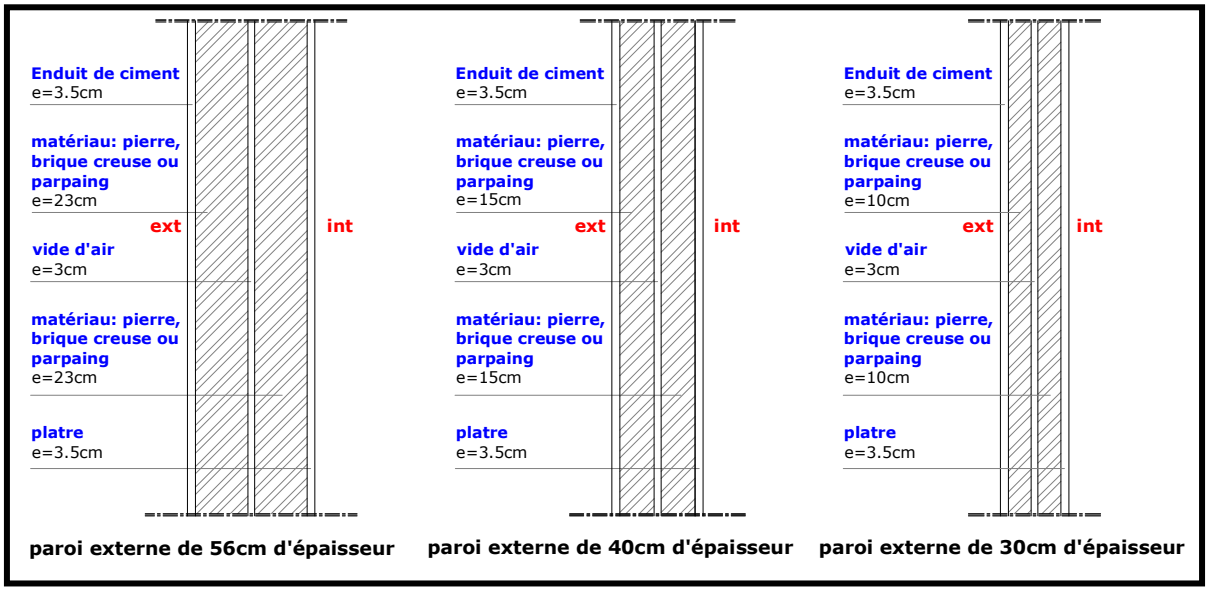


Fig-VII-19- Les épaisseurs testées de la paroi extérieure (Source : Auteur).

Selon la Fig-VII-20-, l'épaisseur de la masse thermique est aussi un paramètre qui a un effet prépondérant sur la variation de la température intérieure. Comparée au parpaing ou à la brique creuse, la pierre donne toujours les meilleurs résultats dans les trois épaisseurs testées.

L'épaisseur 56cm de la paroi extérieure montre des températures intérieures inférieures au cas des trois matériaux, surtout quant il s'agit d'une paroi porteuse (mur porteur).

En diminuant l'épaisseur de la paroi jusqu'à 40 ou 30 cm et en considérant que la paroi est un remplissage, la température ambiante dans la pièce augmente considérablement.

On peut dire que l'épaisseur croissante (56cm) de la masse thermique participe à la meilleure atténuation de la température maximale ambiante. A noter que des épaisseurs plus de 56 cm ont été aussi testés, mais elles n'ont pas donné de résultats.

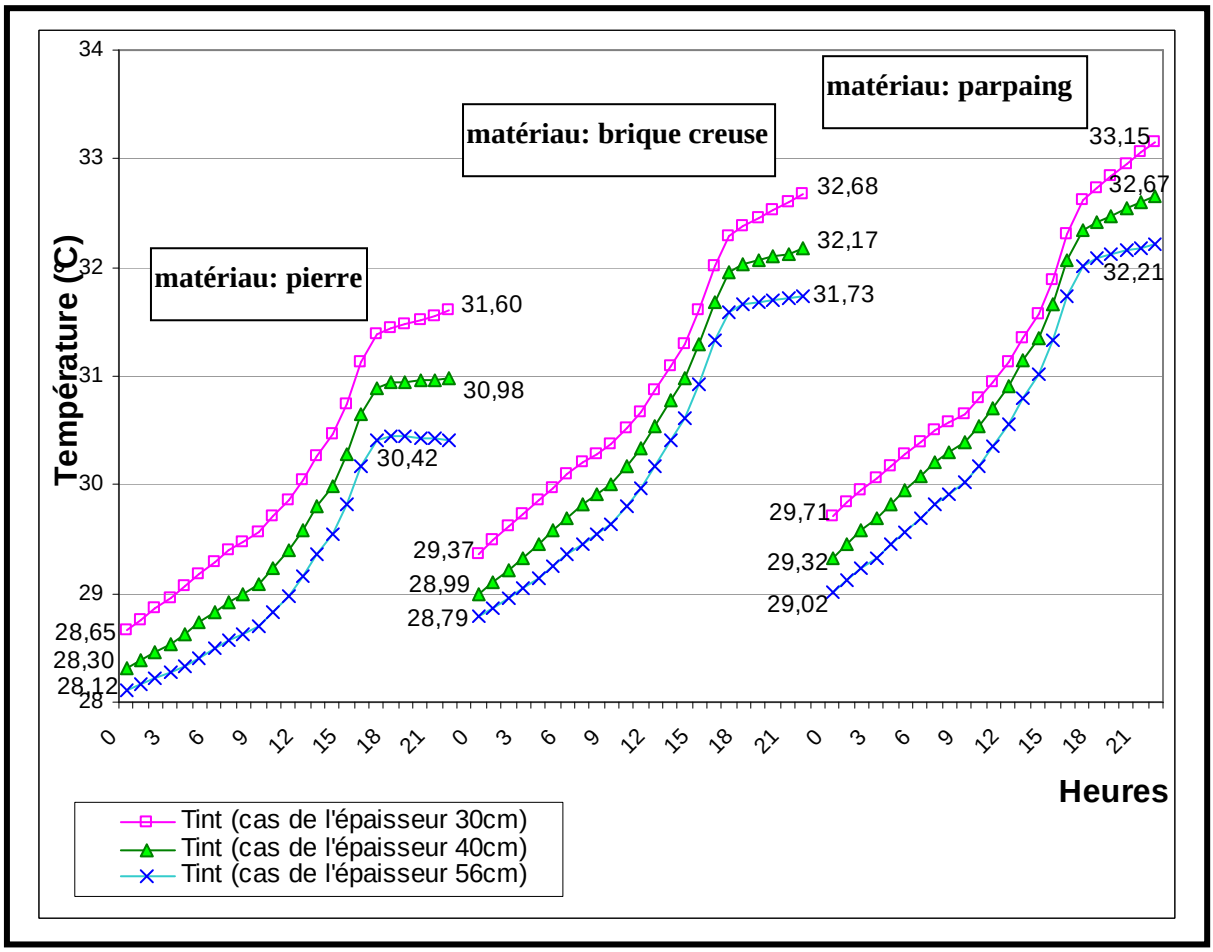


Fig-VII-20- Variation de la température intérieure simulée en changeant l'épaisseur de la paroi extérieure.

VII-6-5-2*b/ L'effet de l'épaisseur de la masse thermique et de la lame d'air :

En testant l'effet de l'épaisseur de la lame d'air, l'épaisseur totale du mur est retenue constante (lame d'air + masse thermique = 30cm) et chaque fois que l'épaisseur de la lame d'air est augmentée, l'épaisseur de la masse thermique est diminuée en même valeur Fig-VII-21-. Ce calcul a été effectué pour les trois matériaux : la pierre, la brique creuse et le parpaing.

La Fig-VII-22- montre que l'effet isolant de la lame d'air n'est pas aussi important que celui du matériau. C'est-à-dire l'augmentation dans l'épaisseur du matériau est plus efficace dans l'abaissement de la température maximale intérieure. Au contraire la croissance de l'épaisseur du vide d'air fait augmenter la température ambiante, surtout le cas de la brique et du parpaing. L'effet de la lame d'air est surtout perçu la nuit mais qui devient négligeable le matin et l'après midi. Ce ci s'explique par les cavités des matériaux qui agissent avant la lame d'air en favorisant le pouvoir isolant de l'air.

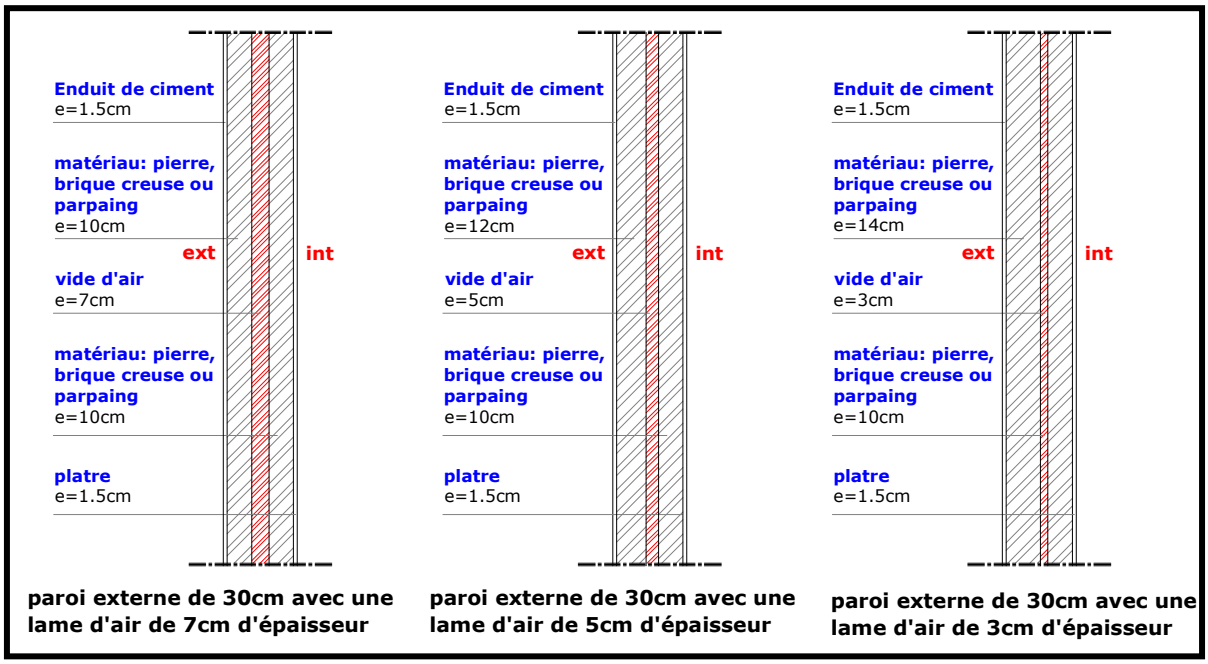


Fig-VII-21- Les épaisseurs testées de la lame d'air et de la masse thermique pour une paroi extérieure de 30cm (Source: Auteur).

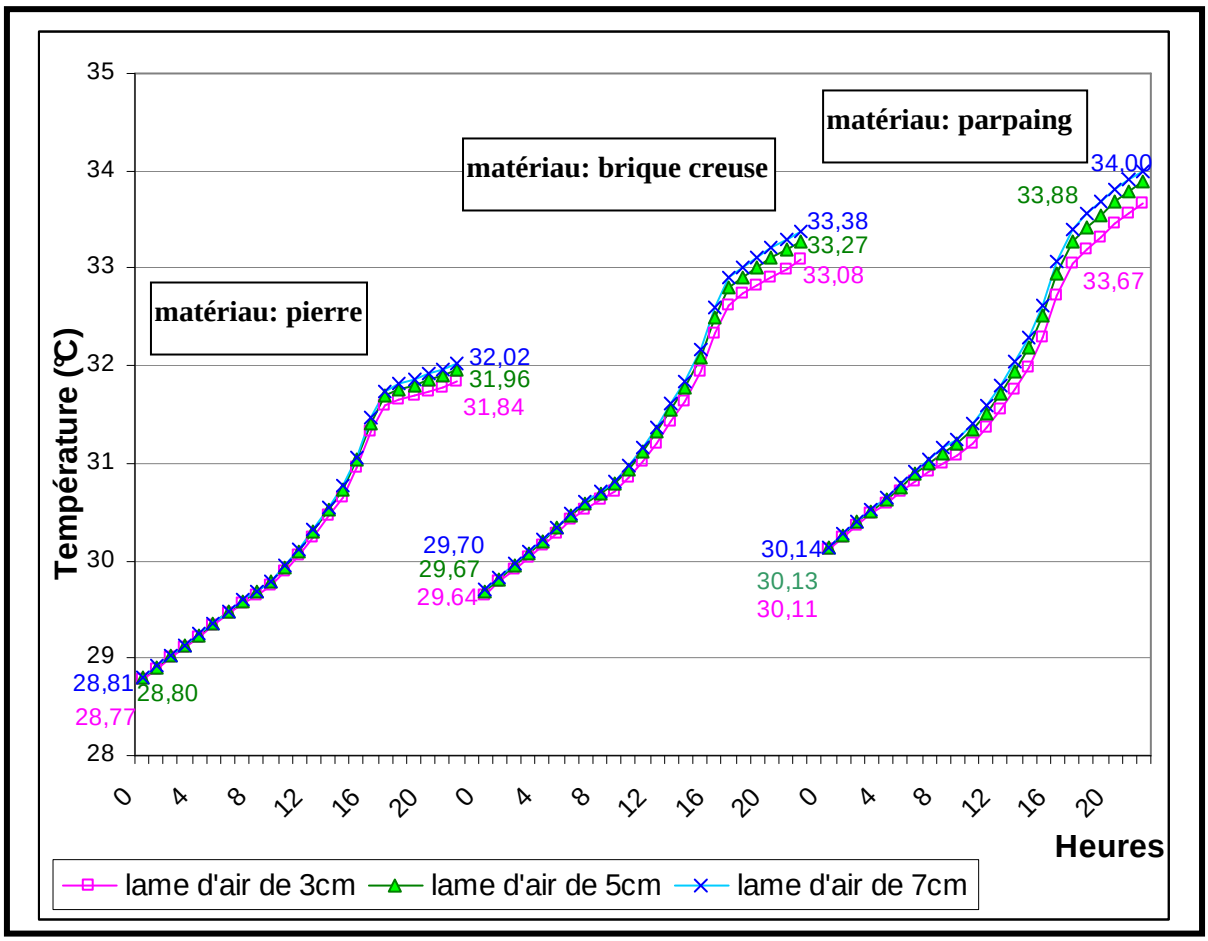


Fig-VII-22- Variation de la température intérieure simulée en changeant l'épaisseur de la lame d'air et l'épaisseur de la masse thermique de la paroi extérieure.

VII-6-5-2*c/ L'effet de l'épaisseur de la lame d'air :

Un autre changement a été établi, concerne uniquement l'épaisseur de la lame qui est augmentée chaque fois au cas des trois matériaux : la pierre, la brique creuse et le parpaing. En augmentant l'épaisseur de la lame d'air, l'épaisseur totale du mur augmente puisque l'épaisseur de la masse thermique est retenue constante (paroi de 10cm coté interne et une paroi de 14cm coté externe) Fig-VII-23-.

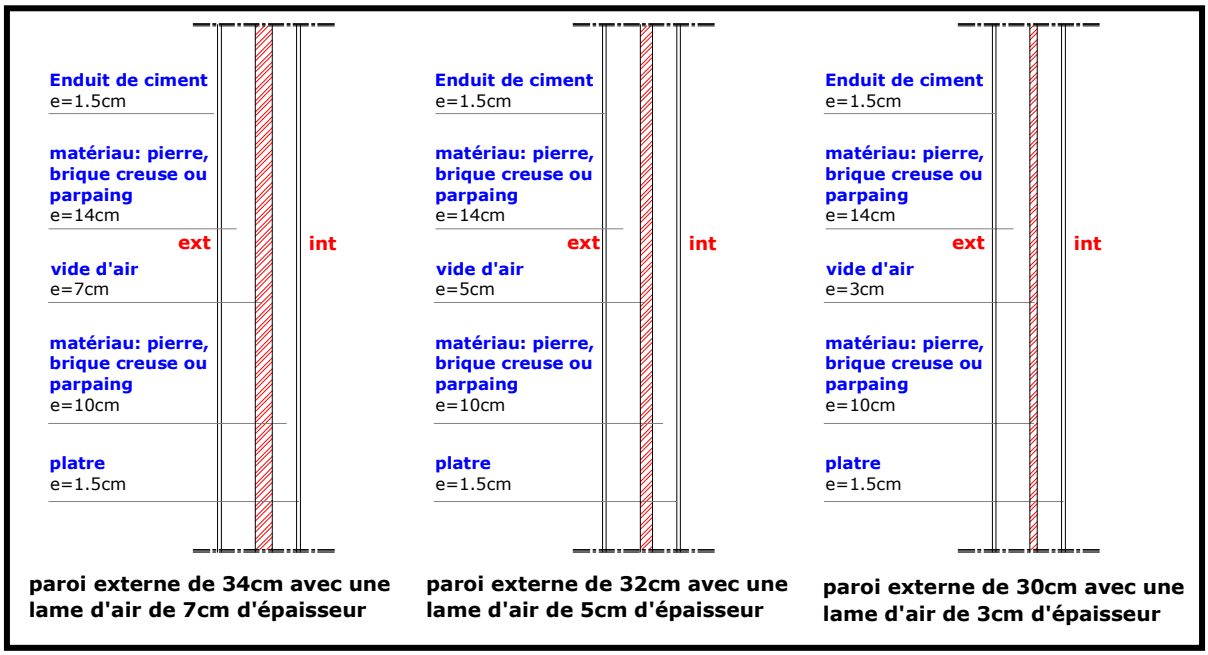


Fig-VII-23- Epaisseurs testées de la lame d'air pour une paroi extérieure de 30, 32 et 34cm

(Source: Auteur)

La Fig-VII-24- ci-après montre aussi que la croissance de l'épaisseur du vide d'air cause l'accroissement de la température ambiante, surtout le cas de la brique et du parpaing. Les trois épaisseurs testées 3, 5 et 7 cm donnent des températures intérieures presque identiques de minuit à 7h du matin. Mais au-delà, l'épaisseur de 3cm permet des températures légèrement inférieures au deux autres.

Ce ci nous permet de constater que l'épaisseur croissante dans la lame d'air n'est pas une solution pour diminuer la température intérieure, surtout si les matériaux utilisés sont alvéolés. Par contre l'épaisseur croissante dans la masse thermique procure une diminution incontestable dans la température maximale intérieure.

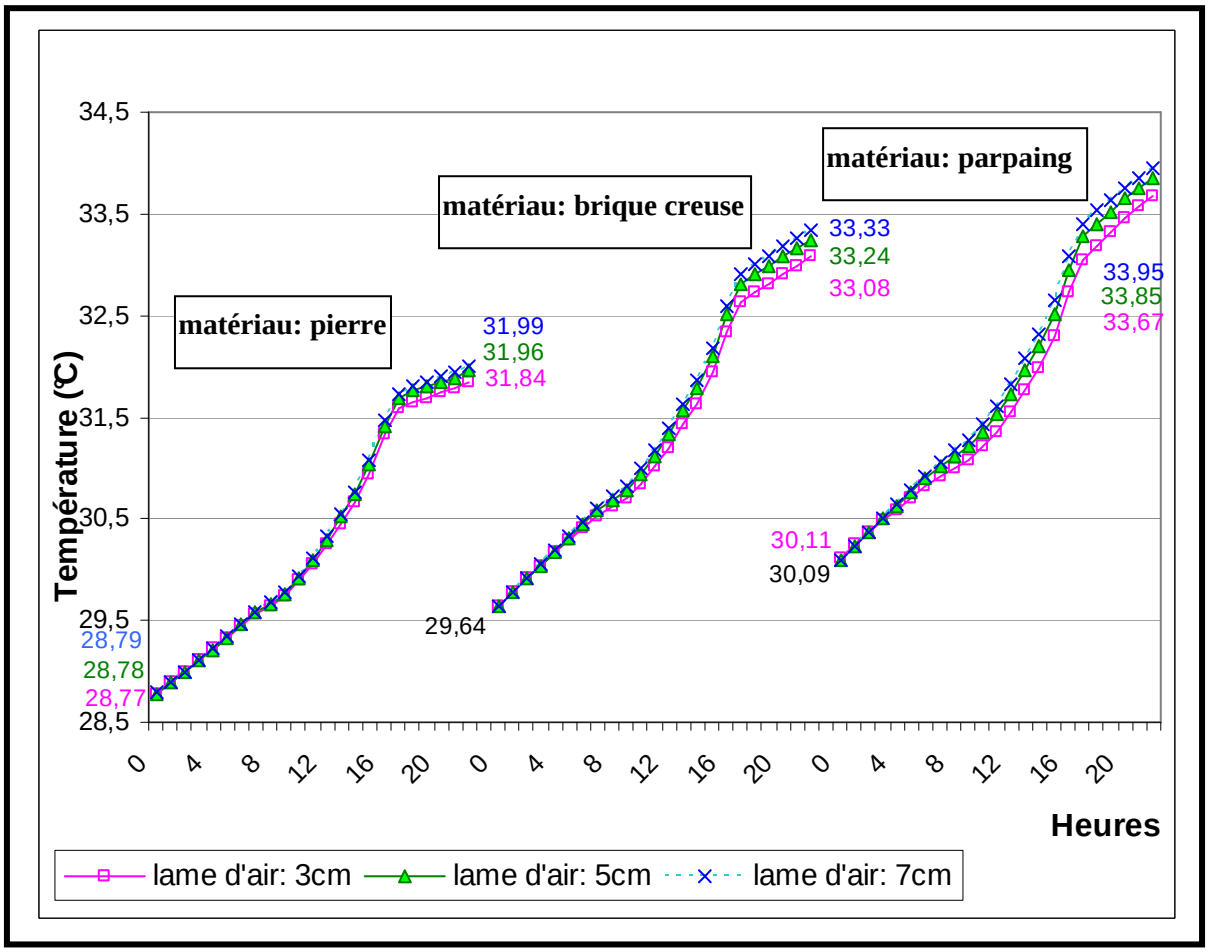


Fig-VII-24-Variation de la température intérieure simulée en changeant l'épaisseur de la lame d'air de la paroi extérieure.

VII-6-5-3* L'effet de la paroi hétérogène :

Dans le but de la recherche de la paroi type, une paroi hétérogène (double paroi) composée de brique creuse/ lame d'air / béton plein a été comparée avec deux parois homogènes, l'une en brique creuse / lame d'air / brique creuse et l'autre en parpaing / lame d'air / parpaing Fig-VII-25-.

La paroi hétérogène offre les meilleurs résultats avec une température maximale de 30.76°C et une minimale de 28.10°C, soit une amplitude seulement de 2.66°C. Les deux parois homogènes donnent des températures plus élevées. Dans celle composée en brique creuse, la température fluctue entre un maximum de 33.27°C et un minimum de 29.67°C, marquant un écart de 3.60°C. La paroi en parpaing donne un maximum de température de 33.88 °C et un minimum de 30.13°C, soit une amplitude de 3.75°C Fig-VII-26-.

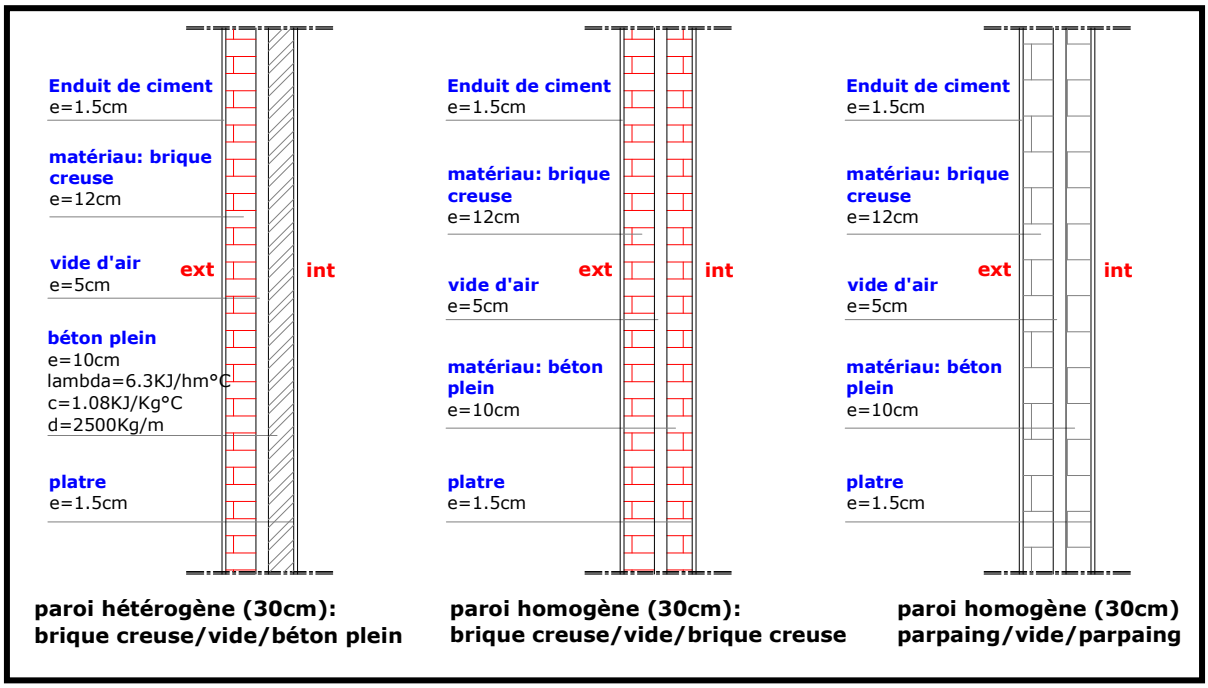


Fig-VII-25- Configuration de la paroi extérieure: cas de paroi homogène et hétérogène pour une épaisseur totale de 30cm (Source : Auteur).

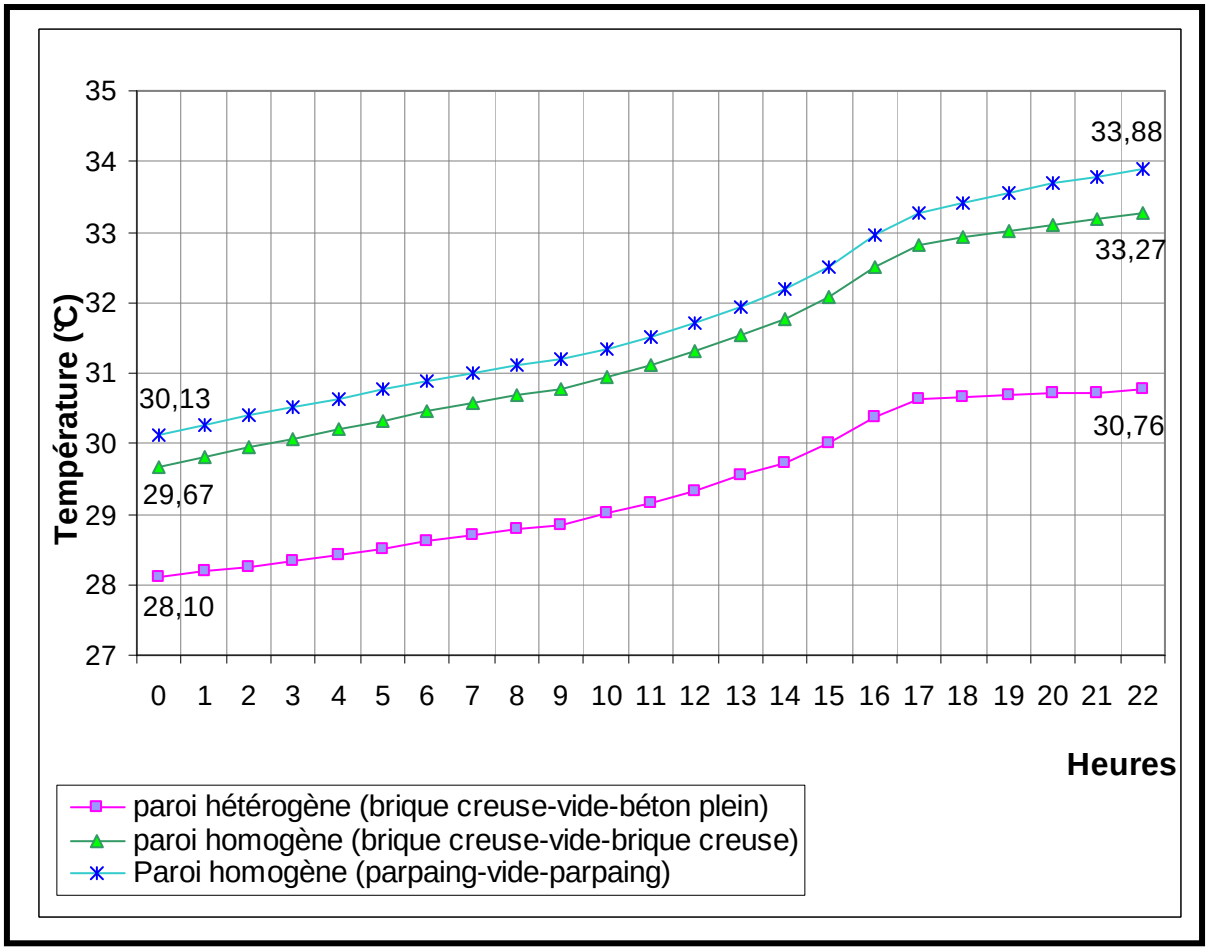


Fig-VII-26- Variation de la température intérieure simulée: cas de paroi homogène et hétérogène pour une épaisseur totale de 30cm.

Ce résultat de la paroi hétérogène rejoint celui de Kuba qui suggère que la construction théoriquement idéale du mur externe, impliquerait la double paroi brique creuse/ vide/ béton plein. Dans lequel la paroi externe aurait une faible absorptivité pour les gains solaires et la radiation de grande longueur d'onde, une grande résistance contre le flux de chaleur interne et une faible capacité de stockage de chaleur. Celle-ci pourrait être composée en briques de cavité légère. La paroi du coté interne aurait une capacité de refroidissement rapide et une grande capacité de stockage de chaleur, composée en béton plein (Voir Chapitre -IV-).

VII-6-5-4* L'effet de l'isolant :

Toujours dans le but de l'amélioration de la performance thermique de la paroi extérieure et à la recherche de la paroi type, l'introduction d'un matériau isolant (feutre) dans la lame d'air a été testé dans le cas de la paroi extérieure en brique creuse Fig-VII-27-.

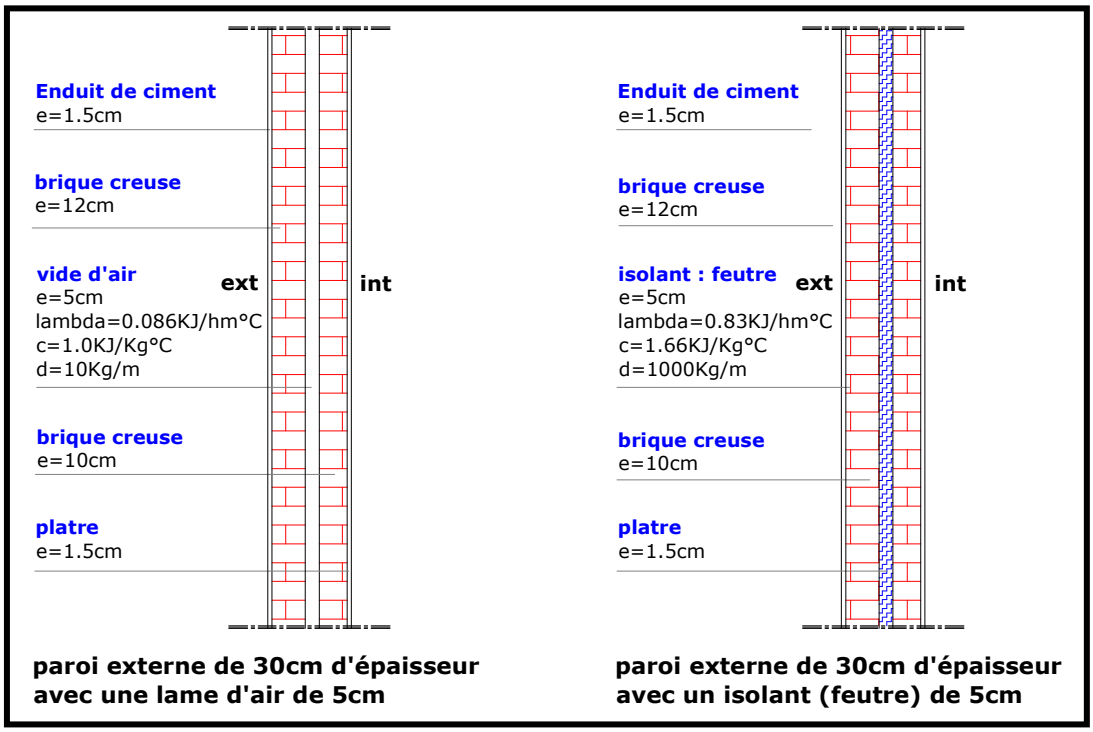


Fig-VII-27- Introduction d'un isolant (feutre) dans la lame d'air (Source: Auteur).

Cette introduction de l'isolant permet un abaissement important de la température intérieure. La Fig-VII-28- donne une comparaison de la variation de la température dans le cas de la lame d'air, et dans celui de l'isolant (feutre). La température ambiante avec la lame d'air fluctue entre un minimal de 29.67 °C et un maximal de 33.27°C, soit une amplitude de 3.60°C. Tandis avec l'isolant (feutre) la température intérieure varie entre un minimum de 29.30 °C et un maximum de 32.07°C, soit une amplitude de 2.77°C. L'écart max entre les températures des deux cas est de 1.20°C, enregistré à 22h.

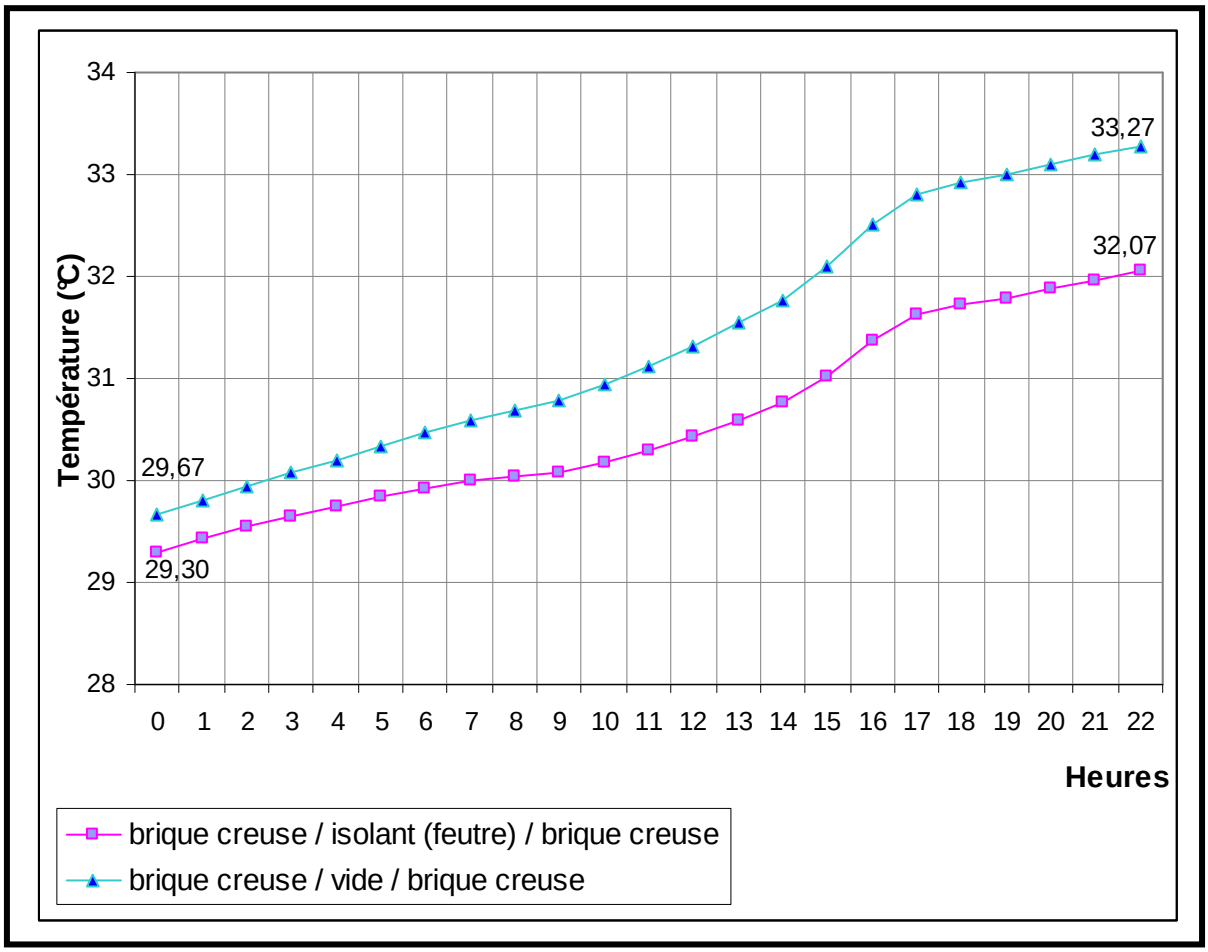


Fig-VII-28- Variation de la température intérieure: cas de la lame d'air et cas de l'isolant.

VII-6-5-4* a / L'effet de l'emplacement de l'isolant :

Trois emplacements différents de l'isolant dans la paroi extérieure ont été testés afin de constater les meilleures conditions qui pourraient affecter positivement la variation de la température intérieure. Dans une paroi en béton plein, l'isolant a été placé du coté externe, du coté interne et dans la partie intermédiaire de la masse thermique (au centre) Fig-VII-29-.

Dans le cas de l'emplacement de l'isolant du coté interne de la masse thermique, la température intérieure varie entre un maximum de 31.33°C et un minimum de 29°C, marquant une amplitude 2.33°C. Dans le cas de l'isolant dans la partie intermédiaire de la masse, la paroi améliore sa performance thermique et permet des températures inférieures. Le maximum atteint est de 30.29°C et le minimum est de 28.05, soit une amplitude de 2.24°C. Encore mieux que dans les deux cas précédents, l'emplacement de l'isolant du coté externe assure des températures ambiantes aussi inférieures. Le maximum de température enregistré est de 29.72°C et le minimum est de 27.78 °C, soit 1. 94°C d'amplitude thermique Fig-VII-30-.

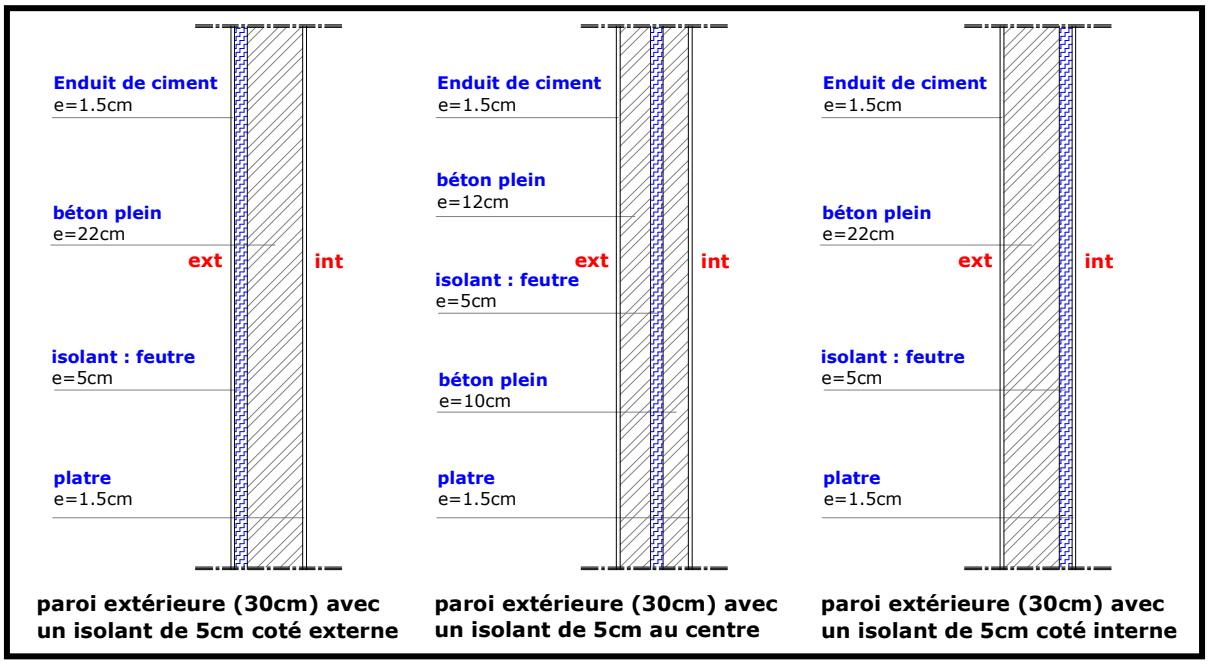


Fig-VII-29- Les trois emplacements de l'isolant dans la paroi externe (Source: Auteur).

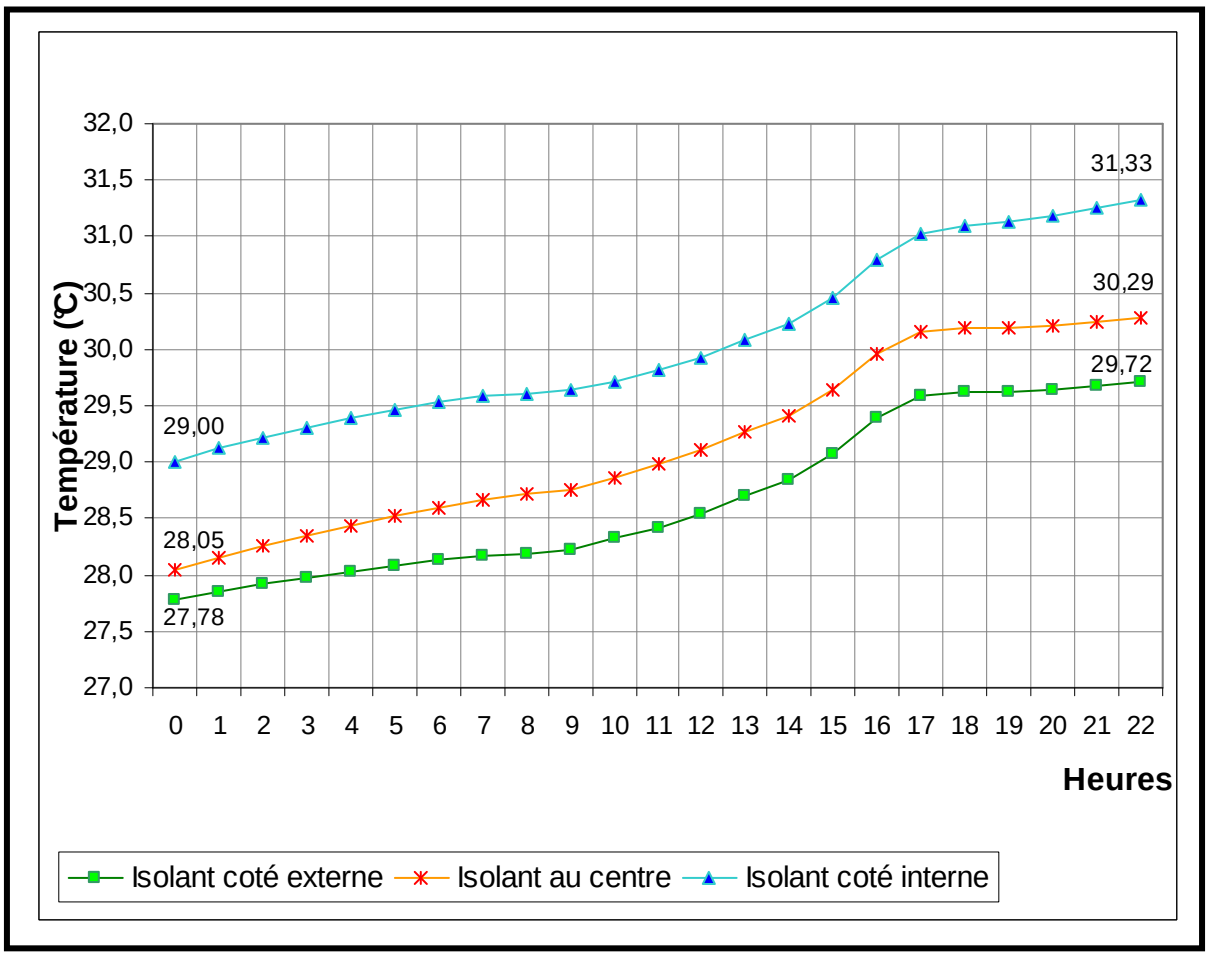


Fig-VII-30- Variation de la température intérieure simulée avec le changement de l'emplacement de l'isolant.

Donc l'emplacement idéal de l'isolant dans la paroi est celui du coté externe de la masse thermique. Cette constatation s'ajoute aux résultats de plusieurs chercheurs comme S.V Szokolay, 1980, S.J Axford, 1983 et A. Ibraheem. Al-Mofeez, 1993 qui suggèrent que l'application de l'isolation sur la face externe de l'enveloppe donne une faible oscillation de la température intérieure (Voir chapitre -IV-).

VII-6-5-4* b / L'effet de l'épaisseur de l'isolant :

Aussi trois épaisseurs : 3, 5 et 7 cm d'isolation ont été vérifiées dans le cas d'une paroi en béton plein avec un isolant placé du coté externe de sa masse. L'épaisseur totale du mur est retenue constante (30cm) et chaque fois que l'épaisseur de l'isolant est augmentée, l'épaisseur de la masse thermique est diminuée en même valeur Fig-VII-31-.

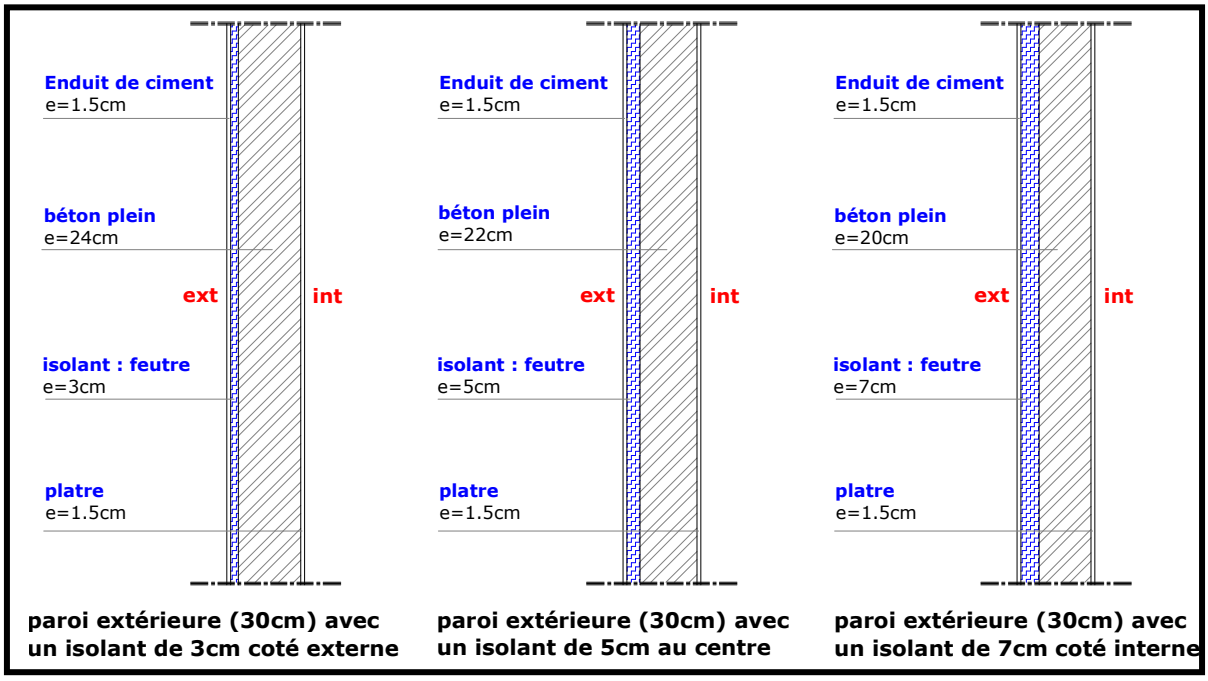


Fig-VII-31- Les trois épaisseurs de l'isolant testées (Source: Auteur).

La Fig-VII-32- montre que l'optimisation de l'épaisseur de l'isolant fait légèrement baisser la température ambiante. L'isolant de 7cm d'épaisseur donne une amélioration de la performance thermique avec des températures inférieures de minuit à midi et de 20h à 22h que celles dans le cas de 3 ou de 5 cm. L'isolant de 5cm permet aussi des températures inférieures au deux autres de 13h à19h. L'isolant de 3 cm donne les températures les plus élevées durant tout le jour. Alors on peut dire que l'épaisseur idéale de l'isolation est celle de 5cm puisque la température intérieure reste peu sensible à partir de cette épaisseur. En plus celle de 7cm donne surtout la performance la nuit, moment où la ventilation nocturne est assurée. Ces résultats rejoignent ceux de Iben Salah, 1989, Nezzar et Gourdache, 2004.

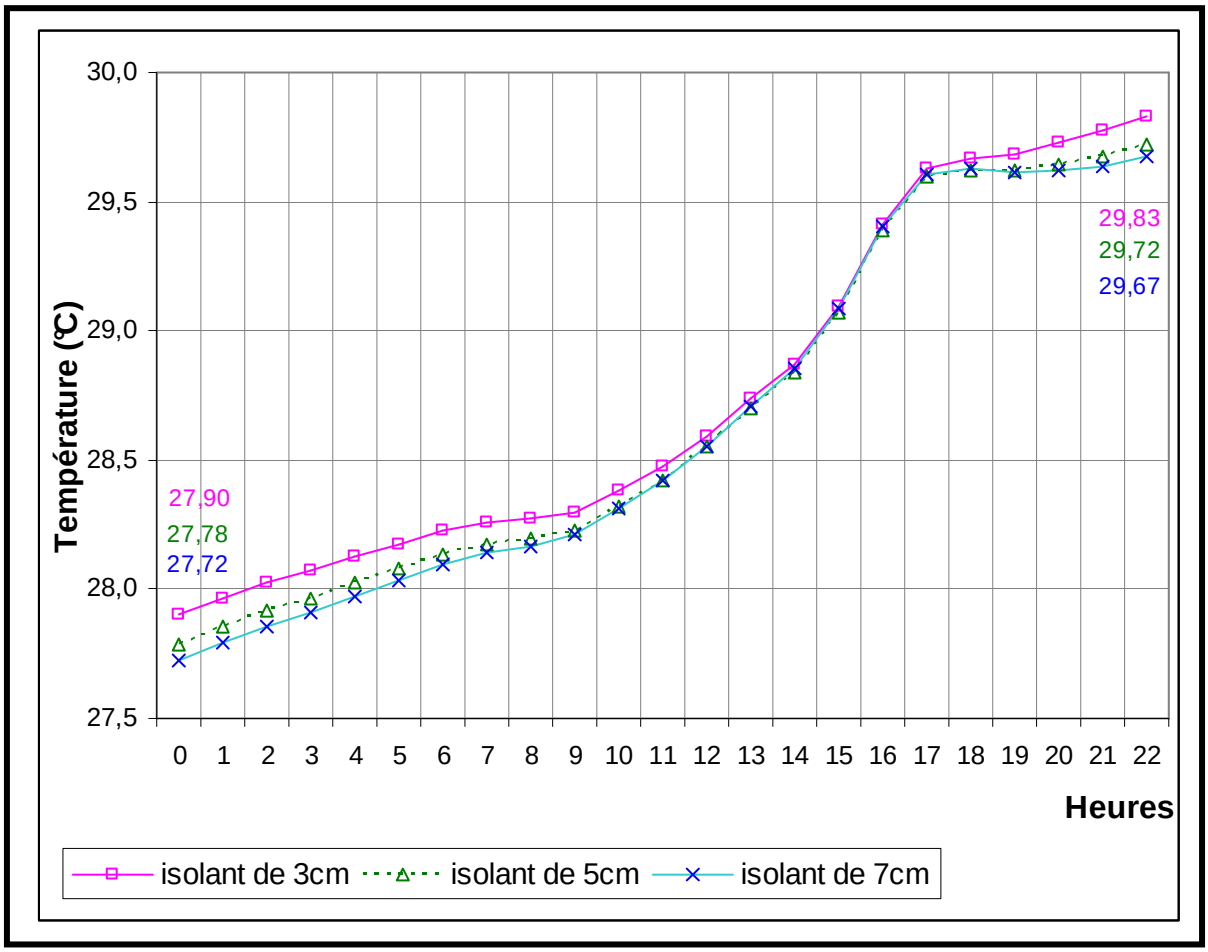


Fig-VII-32- Variation de la température intérieure simulée avec le changement de l'épaisseur de l'isolant.

VII-6-5-5* L'effet de la couleur :

Cinq couleurs de surface ont été testées au niveau de la paroi en béton plein avec isolant placé du coté externe de sa masse. Ces couleurs sont de divers coefficients d'absorption: très sombre 0.9, sombre 0.6, moyenne 0.45, claire 0.3 et très claire 0. La Fig-VII-33- montre l'effet aussi perceptible de la couleur sur la variation de la température ambiante interne surtout avec l'orientation sud ouest de la paroi. L'augmentation du coefficient d'absorption d'une couleur à une autre, élève la température intérieure. La couleur très claire offre la meilleure réponse thermique de la paroi avec des températures de faible amplitude de 1.14°C entre un max de 28.61°C et un min de 27.07°C. Quant à la couleur très sombre, cause des températures les plus élevées des cas, avec une forte amplitude de 2.24°C entre un maximum de 30.38°C et un minimum de 28.14°C. Un écart max de 1.99°C enregistré à 22h entre la température au cas de la couleur très sombre et la température au cas de la couleur très claire. Notant que la couleur prise dans les cas précédents est la couleur sombre 0.6, la couleur initiale de la paroi.

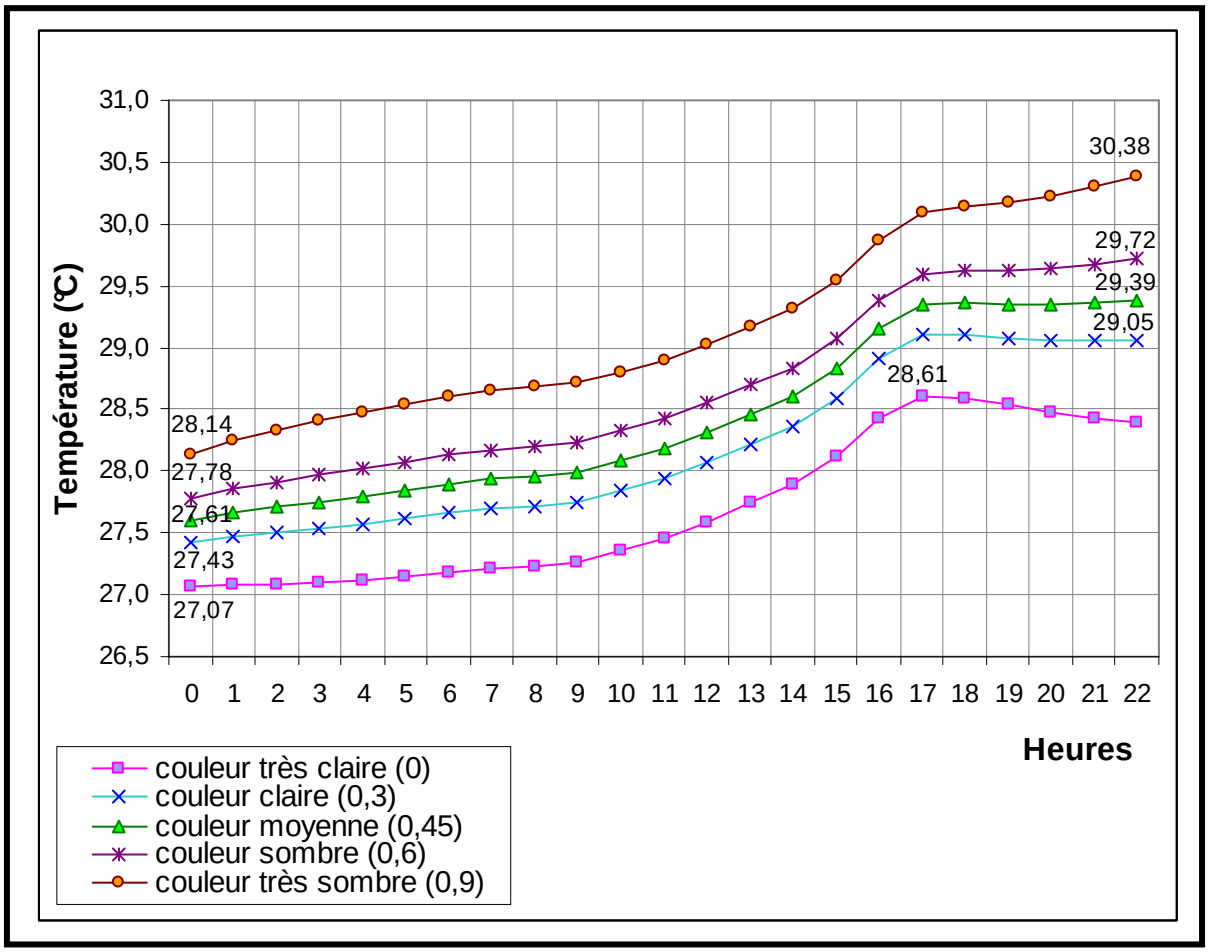


Fig-VII-33- Variation de la température intérieure simulée avec le changement de la couleur de surface de la paroi externe.

Donc la surface externe du mur devrait avoir une faible absorptivité et devrait être peinte en couleur très claire (blanc). De même Kuba, 1970, Cheng.V, NG. E et Givoni, 2005 ont affirmé que l'application de couleur de surface claire est un moyen pour réduire la température intérieure.

Conclusion:

La validation des mesures de l'investigation réaffirme le rôle prépondérant de l'inertie thermique dans la création du confort hygrothermique l'été comme l'hiver. Surtout avec le maintient de la stabilité de la température ambiante et de l'humidité intérieure. Aussi ça affirme l'efficacité et l'utilité des mesures in situ en plus de leur facilité d'utilisation.

Les résultats de la simulation sur la recherche de la paroi type suggèrent que divers paramètres peuvent aboutir à de meilleures conditions. Le matériau le plus favorable demeure la pierre « travertin » en offrant des réponses très positives en terme d'inertie et de régulation thermique grâce à ses qualités intrinsèques.

L'épaisseur croissante (56cm) de la paroi externe participe aussi à la bonne atténuation de la température maximale ambiante. A savoir que l'optimisation de l'épaisseur de la masse thermique procure une diminution incontestable de la température. A l'encontre l'augmentation de l'épaisseur de la lame d'air n'est pas une solution pour diminuer la température intérieure, surtout si les matériaux utilisés sont alvéolés.

La paroi hétérogène (double paroi) en brique creuse/ lame d'air / béton plein donne de bons résultats, comparée avec les parois homogènes, comme celle composée en brique creuse / lame d'air / brique creuse ou celle en parpaing / lame d'air / parpaing.

La rigueur du climat de la ville de Guelma avec la variation de la température jour/nuit, de forte amplitude moyenne (15°C) nécessite l'application de l'isolation, surtout si les bâtiments sont de faible inertie thermique. L'analyse montre que l'introduction d'un isolant permet un abaissement important de la température intérieure qu'avec la lame d'air. L'emplacement idéal de l'isolant dans la paroi est celui du coté externe de la masse thermique. Sur l'épaisseur recommandée de l'isolation et pour des raisons économiques, l'épaisseur idéale est celle de 5cm puisque la température intérieure reste peu sensible à partir de cette valeur.

Enfin, l'application de couleur claire sur la surface de la paroi est un moyen efficace pour réduire la température intérieure, surtout dans le cas des orientations défavorables comme l'orientation sud-ouest.

Conclusion générale et recommandations

Conclusion générale et recommandations:

Maîtriser naturellement les conforts d'été et d'hiver, en privilégiant des solutions simples et de bon sens est en fait une nécessité pour réduire les besoins énergétiques du bâtiment. Avec l'adaptation de la construction aux paramètres climatiques, les divers besoins domestiques sont énormément minimisés. Surtout que la mauvaise conception thermique induit un surdimensionnement des équipements et une surconsommation d'énergie ce qui a un coût financier et environnemental. Salr, 1986, Fenerty-McKibbon et Khare, 2004 sont d'accord que l'optimisation des apports solaires, qui est essentiellement une question d'élaboration architecturale, assure un meilleur équilibre entre les sources gratuites de notre environnement et les dépenses énergétiques. Pour une architecture consciente de l'énergie, une approche globale et intelligente des problèmes énergétiques devrait donc commencer par l'intégration climatique de celle-ci.

Le climat qui devrait être considéré d'un grand sérieux, une interaction existe entre ses effets, les activités humaines en général et le produit architectural en particulier. En fait l'abri de l'homme est depuis le temps bien marqué par des formes déterminées par les impératifs climatiques. Selon A Bennadji, 1999, les facteurs sociaux, religieux et économiques interviennent évidemment, mais dans la manière de se protéger contre ses effets indésirables. S. Abdou, 2004 rajoute que le climat peut constituer un élément déterminant dans l'architecture lorsqu'il est à contrainte unique. Par contre s'il est à caractéristiques conflictuelles il faut chercher un compromis selon les facteurs climatiques dominants du lieu.

Cependant, si le comportement humain dépend-il de l'ambiance climatique extérieure, et si relations existent, elles doivent être complexes et un effet direct du climat n'est visible que dans les cas extrêmes. La notion du « confort dans l'habitat» constitue la réponse.

Le confort thermique visé à l'intérieur des constructions est en fait une principale exigence de l'épanouissement morale et physique de l'individu. Le confort hygrothermique, notion plus précise, se caractérise par la sensation que ressent une personne par rapport à la température et à l'humidité ambiante du local où elle se trouve.

L'étude bioclimatique avec les techniques usuelles proposées empiriquement par les chercheurs sous forme de diagrammes, indices. etc permet de déceler les dispositifs de contrôle microclimatique et de conception architecturale, capables de créer les conditions de confort intérieur dans l'habitat. Mais les conditions qui caractérisent un environnement

considéré confortable demeurent non définissables à l'absolu. Vu que les paramètres culturels, historiques, sociaux, etc influent excessivement sur la notion du bien être. J.F Nicole, 1998 affirme que l'effet de l'acclimatation ou d'accoutumance intervient évidemment dans la sensation du confort.

Dans le but de créer ce confort, l'homme construisait avec son environnement immédiat. Il utilisait des matériaux locaux de préférence lourds, afin de bénéficier de leur inertie. L'action combinée des facteurs climatiques sur son abri provoque des réponses thermiques. L'inertie est derrière cette réponse thermique ou derrière l'intelligente relation qui repose sur la compréhension des mécanismes et des échanges thermiques entre le dedans et le dehors. C'est un procédé passif lié aux matériaux et à la manière dont est constituée la paroi.

Les résultats de recherches montrent l'efficacité de l'inertie thermique sous différents climats, chaud et sec, chaud et humide, froid… etc, dans la création du confort thermique et la réduction de la consommation énergétique. C'est une recommandation nécessaire pour la conception architecturale dans les climats à grand écart diurne comme suggère Givoni, 1976,1998 Ouahrani 1993, Ben Habib 1994, le C.S.T.B, 2004 et Narayan, 2005. Des études aussi récentes comme ceux de Edna Shaviv et al, 1996 S.Szockolay, 1996, NOREN Assima and al, 1999 Solange, 2004 suggèrent que l'inertie thermique peut être aussi utile dans les climats chauds et humides. D'après O. Silder, 2003 l'inertie d'un bâtiment est une fonction directe de sa capacité thermique qui agit concrètement, c'est à dire qu'elle tente de s'opposer à toutes les variations brutales de température. Mais comme un amortisseur qui réduit et retarde l'effet des conditions extérieures (déphasage et décalage) c'est aussi un grand absorbeur d'énergie.

A cet effet la présente recherche a examiné le rôle et l'impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment sous le climat sub humide de Guelma. Le but de la recherche était la détermination de l'épaisseur idéale de la masse thermique assurant le confort des utilisateurs; le meilleur choix des matériaux de construction utiles pour la masse thermique; enfin l'exploitation optimale de l'énergie solaire et l'adoption des solutions passives pour limiter au minimum le recours à l'énergie d'appoint.

Afin d'atteindre ces objectifs nous avons eu recours à l'usage de deux outils de recherche « l'investigation » avec les mesures in situ à l'aide d'instrumentation et « la simulation » à l'aide d'un logiciel informatique.

L'investigation a été menée sur une maison de l'époque coloniale, prise pour l'évaluation de l'impact de l'inertie sur le confort hygrothermique. Une villa contemporaine, deuxième échantillon a été choisie en comparaison pour évaluer l'impact de l'inertie sur la consommation énergétique.

Les conclusions dérivées de l'investigation affirment que la maison de l'époque coloniale grâce à l'inertie thermique de son enveloppe assure le confort intérieur hygrothermique hivernal et estival. Mais celle-ci reste assez dépendante de divers paramètres, dont le comportement de ses occupants, le contrôle de la ventilation nocturne en été et le chauffage d'appoint pour la régulation de la température en hiver.

Il a été constaté qu'en été, l'inertie quotidienne permet de lisser les flux thermiques et les températures extrêmes. Elle évite les surchauffes et favorise une plus grande stabilité des températures, dépendant essentiellement des matériaux de construction utilisés. Ce qui est conforme avec les résultats de Croom 90, Izard 93 et Lavigne 94.
L'inertie séquentielle de son coté assure l'atténuation de la température maximale en profitant des jours frais qui précédent la séquence chaude.

L'inertie par absorption dans le cas étudié, due à l'effusivité et à l'épaisseur croissante du mur permet le déphasage de l'onde thermique. Il a aussi été découvert que les apports sont bien amortis grâce à l'effet isolant du matériau utilisé « le travertin ». Les nombreuses alvéoles de ce dernier et ses qualités intrinsèques favorisent le pouvoir isolant de l'air en ralentissant les mouvements de convection dans les cavités.

Par ailleurs, la recherche a démontré que d'autres paramètres propres à la maison de l'époque coloniale influent positivement sur sa performance thermique. Le mode constructif exemple, où les interstices entre les moellons et le vide laissé lors du montage de mur le cas de l'échantillon constituent de leur part des ruptures thermiques. Aussi les éléments architecturaux omni présents dans l'architecture de l'époque coloniale, et en particulier dans l'immeuble testé tel que la cave et la cour permettent la bonne régulation thermique. Sans oubliés les matériaux situés à l'intérieur (planchers, cloisons et meubles) qui agissent aussi sur les températures intérieures. Ce ci en introduisant une inertie par absorption réduisant les oscillations de la température considérée. En outre la hauteur importante sous plafond permet de larges surfaces effusives des cloisons intérieures en garantissant cette inertie par absorption. E.Shaviv 1984, Ben Habib et al 1994 et Brejon et al 1994 ont confirmé l'importance de larges surfaces effusives à l'intérieur, dont l'inertie par absorption réduit la variation de la température intérieure. Enfin la toiture en pente joue un rôle positif durant le jour, vu que le comble protège le plafond des radiations solaires directes.

En revanche durant la nuit, il se produit un gain à l'intérieur après la dissipation de la chaleur stockée. D'où une inertie par transmission se produit et qui augmente au fur et à mesure avec l'épaisseur et diminue avec la diffusivité du mur. Il a été conclut que l'inertie thermique réduit l'écart entre les températures maximales et minimales intérieures. Elle écrase les températures maximales surtout le jour et relève légèrement les températures minimales pendant la nuit. Ces résultats viennent confirmer ceux de l'A.F.M.E 1988 et de Cheng, Givoni 2005.

Alors, il a été suggéré que la forte inertie thermique doit être associée à une ventilation nocturne considérable pour évacuer la chaleur dissipée à l'intérieur. De plus, avec la compensation entre gains et pertes, la température intérieure demeure constante. Rejoignant par cette révélation l'avis de plusieurs chercheurs sur l'effet de la ventilation nocturne comme Van der Maas et al 1994, Santamouris et Asimakopoulos, 1996, Balaras, 1996, Shaviv à al, 2001 et Goulart, 2004.

D'autre part, il a été observé que la température maximale de la surface extérieure de la paroi dépend essentiellement de sa couleur, de son orientation et de son occultation. La couleur et la proximité de surfaces avoisinantes ont également un effet sensible sur la température de la surface considérée. Or la température de surface interne de la paroi est essentiellement liée à la qualité thermique du matériau utilisé. Celle-ci exclue en plus l'effet de la paroi chaude. Ces résultats sont en accord avec ceux de Taha, Akbari, Rosenfeld, Huang, 1998 et J Cheng, Givoni, Araujo Prado, Ferreira, 2005.

L'effet imposant de la paroi en pierre contribue aussi au maintien de l'équilibre hygrométrique, en évitant les variations de l'humidité relative de l'air ambiant. Les propriétés hygrométriques de l'adsorption et la désorption de la vapeur d'eau contenue dans l'ambiance, permettent de réguler les conditions intérieures. Assurant ainsi le confort hygrométrique.

D'après l'évaluation hivernale, Il a été affirmé que l'inertie thermique peut jouer le rôle inverse. La paroi absorbe pendant la journée le rayonnement calorifique solaire et le dégage pendant les heures froides la nuit. L'inertie permet à nouveau de moduler les apports calorifiques et les répartir à bon escient. Surtout que la capacité thermique de la paroi et son épaisseur mettent bien en évidence la gestion optimale de ces apports de chaleur. Balaras 1996 affirme que l'énergie disponible des gains solaires et les gains internes durant le jour est stockée dans la masse et lentement restituée dans l'environnement intérieur plus tard lorsqu'on a besoin.

L'inertie du matériau le travertin dans notre cas, a joué le rôle d'isolant. Ce ci en limitant les pertes de la chaleur intérieure, en étalant la pénétration du froid extérieur, et en excluant l'effet de la paroi froide. Vu que le froid de la nuit ne pénètre dans la maison que dans la journée, dont elle est souvent compensée à ce moment là par les apports solaires qui passent par les vitrages. Sans oublier l'effet de la mitoyenneté qui aide aussi à diminuer les déperditions calorifiques intérieures.

Mais la constitution du stockage de chaleur à l'intérieur suppose pour que les conditions de confort soient maintenues, qu'il y ait un équilibre énergétique à l'échelle de la journée. A défaut il y aura un refroidissement potentiel, où le chauffage d'appoint pourvoira à ce risque et maintiendra une température de confort.

L'équilibre hygrométrique à l'intérieur est aussi assuré d'une part par l'inertie de la paroi en gardant une faible amplitude de l'humidité. D'autre part par l'uniformité de la température ambiante. Avec l'utilisation d'un matériau local, la température et l'humidité relative sont quasiment constantes et proches des conditions de confort hygrothermique intérieur.

Par ailleurs, le rôle de régulateur thermique de la cour en période chaude est sacrifié au profit de contrôle thermique et du confort en période froide par l'ensoleillement.

En fin, l'étude comparative sur la consommation énergétique a trouvé qu'avec l'assurance du confort hygrothermique hivernal et estivale, l'inertie permet une consommation énergétique réduite. En hiver l'utilisation rationnelle du chauffage, et en été le non recours à la climatisation. Mais celle-ci doit être combinée avec les moyens de chauffage et de refroidissement naturel pour le bon comportement thermique de la construction. Produisant ainsi une bonne perception du confort hygrothermique intérieur.

La validation des résultats de l'investigation par le logiciel TRNSYS concernant la température intérieure, et l'humidité de l'air ambiant, réaffirme le rôle prépondérant de l'inertie thermique dans le maintient de l'équilibre hygrothermique intérieur. Aussi ça affirme l'efficacité et l'utilité des mesures in situ en plus de leur facilité d'utilisation.

Les conclusions dérivées des résultats de la recherche des caractéristiques de la paroi performante (paroi type) ont été utilisées pour définir une série de directives de conception visant l'amélioration de la performance thermique des bâtiments résidentiels.

Recommandations sur l'optimisation de l'inertie thermique en climat chaud, sub humide:

La recherche d'équilibre climatique entre l'habitat et son milieu s'exprime sous le climat de Guelma sous forme de deux grands principes :

- En période froide, favoriser les apports de chaleur gratuite à l'aide des concepts de captage, stockage, de distribution et de diminution des pertes thermique tout en favorisant une ventilation suffisante.
- En période chaude, diminuer les apports calorifiques et favoriser la ventilation par les concepts de protection et de dissipation.

Ceux-ci fonderont l'élaboration d'une somme de recommandations qui seront formulées à l'intention des décideurs, législateurs architectes et tous ce qui ont le pouvoir de promouvoir un cadre bâti résidentiel pour le plus grand nombre, le quel pourra assurer à ses occupants le confort souhaité.

Les résultats de la présente recherche ont démontré que l'inertie thermique dans les bâtiments ne peut pas complètement être considérée comme une stratégie unique. Les études de simulation ont autorisé la découverte de la meilleure combinaison de stratégies constructives qui doivent être appliquées pour améliorer la performance d'un bâtiment de plus haute inertie thermique :

1-Choix du matériau :

Le matériau choisi doit être :

- de faible diffusivité ;
- de grande effusivité ;
- de faible conductivité thermique ;
- de densité élevée.

Le matériau le plus favorable demeure la pierre « travertin » en offrant des réponses très positives en terme d'inertie et de régulation thermique grâce à ses qualités intrinsèques. C'est un matériau local de diverses caractéristiques. Dur, dense et isolant à cause de ses cavités. On recommande donc son exploitation avec l'édification de manufactures et usines dans l'est algérien, qui le traite sous forme de pierres de taille pour la maçonnerie. Puis que sa formation est récente, et d'après la carte géologique, il occupe de vastes surfaces au sud

de la ville et s'étend jusqu'à Constantine. De plus son extraction est actuellement réalisée par plusieurs carrières dans la région.

2- Choix de l'épaisseur :

- ❖ L'épaisseur de la masse thermique doit être augmentée ;
- ❖ L'épaisseur de la lame d'air doit être diminuée, si les matériaux utilisés sont alvéolés.

Les résultats de la simulation affirment que l'épaisseur de 56cm de la paroi externe procure la bonne atténuation de la température maximale ambiante.

3- Choix de la paroi hétérogène :

- o Prévoir une paroi hétérogène (double paroi) en brique creuse/ lame d'air / béton plein. Dans lequel la paroi externe composée en brique aurait une basse absorptivité pour les gains solaires et la radiation de grande longueur d'onde, une haute résistance contre le flux de chaleur interne et une faible capacité de stockage de chaleur. La paroi du coté interne, composée en béton plein aurait une capacité de refroidissement rapide et une grande capacité de stockage de chaleur.

4- Isolation, emplacement et épaisseur :

- L'introduction d'un isolant permet un abaissement important de la température intérieure qu'avec la lame d'air ;
- L'emplacement idéal de l'isolant dans la paroi est celui du coté externe de la masse thermique ;
- L'épaisseur recommandée de l'isolation et pour des raisons économiques, serait de 5 cm, surtout que la température intérieure reste peu sensible à partir de cette valeur.

5- La couleur :

- Prévoir des couleurs claires sur la surface de la paroi pour réduire la température intérieure, surtout dans le cas des orientations défavorables comme l'orientation sud-ouest.

Axes de recherches futurs :

L'inertie thermique est donc un phénomène complexe, multicritère et indispensable pour l'obtention d'un confort hygrothermique à moindre consommation énergétique possible. L'ensemble des chercheurs sur le sujet, voient là un moyen évident pour réduire les consommations et améliorer les conditions intérieures. Plusieurs questions restent en suspend, et dont les réponses constitueront sans doute de nouveaux axes de recherches:

- Comment adapter l'inertie thermique du bâtiment au système du chauffage utilisé ?
- Comment utiliser l'inertie thermique dans le tertiaire, où l'occupation est intermittente et où l'espace intérieur de ces bâtiments doit être modulable ?
- Comment adapter l'inertie thermique à l'usage ?
- Comment concilier l'inertie thermique avec l'aménagement des locaux (revêtements faux plafonds..) ?
- Choisir entre inertie thermique ou isolation, lequel abouti au meilleur confort hygrothermique et faible consommation énergétique dans l'habitat ?

Il a été constaté dans la présente recherche que la performance d'une plus forte inertie thermique du bâtiment dépend de certains aspects. La simulation n'a pas évalué l'impact des mesures constructives comme l'occultation, dimension de la fenêtre, et la protection du toit et même l'orientation sur la performance thermique de l'inertie. Tous ces paramètres laissent la brèche à de futures recherches. Aussi, le volume, les gains internes n'ont pas été changés. D'où, il est recommandé que d'autres investigations devraient être entreprises pour établir une relation entre la performance de l'inertie thermique et les différents volumes de la pièce. Ces résultats vont être capables d'étendre les résultats pour diverses situations. Aussi, confirmer quelques aspects étudiés à travers la simulation, tel que l'influence de la surface exposée de la masse thermique et le rapport avec le gain solaire direct et/ou le gain de la chaleur interne.

De plus la simulation n'a concerné que la pièce du R.D.C avec ses propres caractéristiques. Construite sur cave et son volume et mieux protégé des gains solaires que celle d'étage. Toutes ces caractéristiques ont l'influence sur la performance de l'inertie thermique. Il est donc suggéré que des configurations différentes de la pièce devraient être simulées, comme ceci mène aux performances thermiques différentes.

Par ailleurs, une recherche des caractéristiques de la toiture et le plancher types avec leur inertie thermique optimale doit être évaluée dans le futur. En testant l'effet du matériau, l'épaisseur de la masse thermique, l'isolant et la couleur sur leur performance thermique.

Bibliographie

Bibliographie

Livres :

1- A.F.M.E Agence Française pour la Maîtrise de l'énergie**,** «Conception thermique de l'habitat guide pour la région Provence-Alpes-Côte d'Azur », Edition EDISUD, Décembre 1988.

2- ALEXANDROFF. George et Jeanne-Marie, Architectures et climats : soleil et énergies naturelles dans l'habitat, Paris : Edition Architectures Berger-Levrault 1982.

3-ANAH Agence Nationale pour l'Amélioration de l'Habitat « Réhabiliter et entretenir un immeuble ancien point par point ». Edition Le moniteur Paris 1995

4- BERGER. X, *La climatisation urbaine passée et présente* 1998, In « Ambiances architecturales et urbaines », Paris: Editions PARENTHESES.

5- BERNSTEIN. Daniel et al, « Anatomie de l'enveloppe des bâtiments: construction et enveloppes lourdes », Paris: Edition LE MONITEUR, 1997.

6- BONHOMME. André, « L'isolation des bâtiments. Conception des projets: Ventilation Apport solaires, Besoins de chaleur, Economies d'énergie », Paris: Edition du MONITEUR, 1986.

7- BUSBY. Peter, «Sustainable design fundamentals for building », Canada: BEAUREGARD PRINTERS, 2001.

8- CHATELET. Alain, FERNANDEZ. Pierre et LAVIGNE. Pierre, « Architecture climatique. Une contribution au développement durable. Tome 2 : Concepts et dispositifs » Aix-en-Provence: Edition EDISUD, 1998

9- CHARBONNIER, Sylvie et al, « Le guide de la thermique dans l'habitat neuf » Paris: Edition du MONITEUR, 1992.

10- CHATEAU. Bertrand et LAPILLONE. Bruno, « La prévision à long terme de la demande de l'énergie – propositions méthodologiques », Paris: Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, 1977.

11- CHITOUR. Chems Edine, « L'énergie- Les enjeux de l'an 2000 », Alger : Office des Publications Universitaires OPU, 1991.

12- COIGNET. Jean et Laurent, « La maison ancienne : Construction, diagnostic, interventions », Paris: Editions EYROLLES, 2003.

13- COIGNET. Jean, «Réhabilitation : arts de bâtir traditionnel connaissances et techniques » Aix-En-Provence: Edition EDISUD, 1987.

14- COLLOMBET. R, «l'humidité des bâtiments anciens», Paris: Edition du MONITEUR, 1985.

15- C.R.A.U (Centre de recherche en architecture et en urbanisme. En collaboration avec l'université des nations unies UNU), _ « Village solaire intégré », __ El harrach : Edition OPU 1988.

16- CROISET. Maurice, __ «L'hygrothermique dans le bâtiment Confort d'hiver d'été Condensations », Paris: Edition EYROLLES 1968.

17- DEVUYST. Paul, ___ «Météorologie et prévision du temps», ___ Paris: Edition EYROLLES 1979.

18- DEOUX. Suzane et Pierre, ___«Le guide de l'habitat sain »,_Andorra: Edition MEDIECO,_Avril 2002.

19- ESTIENNE. Pierre et GODARD. Alain,____«Climatologie », ___ Paris: Edition ARMAND COLIN 1970.

20- GALLAUZIAUX. Thierry et FEDULLO. David, __« Le chauffage électrique et l'isolation thermique comme un pro ! » Paris : Edition EYROLLES, 2000.

21- GAUZIN-MULLER. Dominique, _«L'architecture écologique », __ Paris: Edition le Moniteur, Novembre, 2002.

22-GIVONI. Baruch, ___ « L'homme, l'architecture et le climat », ___ Edition du MONITEUR, 1978.

23- GIVONI. Baruch,__« Passive and low-energy cooling of building»,___USA: VAN NOSTRAND REINHOLD, 1994.

24- GODARD. Alain et **TABEAUD. Martine,** _ « Les climats mécanismes et répartition » Paris: Edition ARMAND COLIN, Juillet 2000.

25- GUYOT. Gerar, __ «Climatologie de l'environnement Cours et exercices corrigés », Paris : Edition DUNOD 1999.

26- HESCHONG. Lisa, ___ «Architecture et volupté thermique », __Paris : Editions PARENTHESE, 1981.

27- HUFTY. André, _ « Introduction à la climatologie; le rayonnement et la température l'atmosphère; l'eau; le climat et l'activité humaine, _ Les Presses de l'université Laval 2001

28-HUFTY. André,_« Introduction à la climatologie », ___ Paris: Edition PRESSES UNIVERSITAIRES de 1976.

29- Institut national du patrimoine, __ *Architecture coloniale et patrimoine. L'expérience française,* __Acte de table ronde organisée par l'institut nationale du patrimoine, __ Paris : SOMOGY éditions, 2005.

30-IZARD. J.L et GUYOT. A, __«Archi bio», __Paris: Edition PARENTHESES 1979.

31- IZARD. J L, _«Architecture d'été Construire pour le confort d'été »,__EDISUD 1993.

32- KOENIGSBERGER et al, __ *Climatic disign*, __ London, New York: Edition LONGMAN 1974.

33- KOMAR. A, __« Matériaux et éléments de construction Technique soviétique » Edition de Moscou 1982.

34- LABOUZE. Eric, __ « Bâtir avec l'environnement, enjeux écologiques et initiatives industrielles »,_PARIS: Ed de L'ENTREPRENEUR, 1993.

35- LAVIGNE. Pierre et al,_« Architecture climatique une contrition au développement durable. Tome 1 : Base physiques », _ Aix-en- Provence: Edition EDISUD, 1994.

36- LETERTRE. F et RENAUD. H,__«Technique du bâtiment Gros œuvre comment isoler» _Paris: ED FOUCHER ,1979.

37- LIEBARD. Alain et DE HERDE. André, __« Guide de l'architecture bioclimatique. Cours fondamental. Tome 2: Construire avec le climat »,_Ed: LEARNT, Novembre 1996.

38- LOUBES. Jean- Paul, _ « Archi troglo »,__France: Editions PARENTHESE, 1984.

39- MAILLET. Pierre et CASSETTE CARRY. Martine,_« L'énergie »_Série que sais-je? Paris: Presses Universitaires de France, 7ème édition refondue, mai 1989.

40- MAZOUZ. Said,__« Eléments de conception architecturale »Alger: Edition O.P.U, Juillet, 2004.

41- MENDLER. Sandra and ODELL. **William**,__« The HOK Guidebook to Sustainable design », _New York: JOHN WILEY & SONS, 2000.

42- OLESEN et al, 1973,___ In « Architecture et volupté thermique », Paris: Editions PARENTHESE, 1981.

43- OLGAY. Aladar and OlGAY. Victor, __ Solar control and shading devices, __ New Jersey: Princeton University Press Princeton, 1976.

44- OLIVA. Jean Pierre, _ *L'isolation écologique: conception, matériaux, mise en œuvre* Mens, France : Edition TERRE VIVANTE, 2005.

45-PEUPORTIER. Bruno,__« Eco conception des bâtiments Bâtir en préservant l'environnement », _Paris : Les presses de l'école des mines, 2003.

46- REYSSET. Ascal, ___« Aménager la ville », ___ Paris: Collection Ecologie Urbaine: Coéditée par Foncier Conseil et les éditions Sang de la terre, 1997.

47- RIETSCHEL. H et RAISS. W,__« Traité de chauffage et de climatisation »__Tome 2 Ed Paris: DUNOD – BORDAS, 1974.

48- SLANSKY. Maurice, __ «Terminologie et classification des roches sédimentaires formées de silice, silicates, carbonates et phosphates Manuels et méthodes N°22 »__Orléans: Edition du BRGM, France 1992.

49- SZOKOLAY. S.V, ___«Environmental science handbook for architects and builder». LACASTRE, LONDON, NEW YORK: THE CONSTRUCTION PRESS, 1980.

50- TABEAUD. Martine, _ « La climatologie », _ Paris: Edition ARMAND COLIN, 2000.

51- VALIERE. Gilbert, __« Le ravalement des façades Mode d'emploi Nettoyage et décapage des façades anciennes et modernes » Paris: EDITION EYROLLES, 1998.

Thèses et mémoires :

1- ABDOU. Saliha,__« *Investigation sur l'intégration climatique dans l'habitation traditionnelle en régions arides et semi arides d'Algérie : Cas du Ksar de Ouargla et de la médina de Constantine*. », _Thèse de doctorat d'état Université de Constantine2004.

2- BENHAMOUDA. Linda, __« *Analyse de la perception du confort thermique dans les régions arides et semi-arides. Etude de cas : Bou-Saâda* » Thèse de magister, _Université de Biskra 2001.

3- BENNADJI. Amar, « *Adaptation climatique ou culturelle en zones arides Cas du Sud -Est algérien* » Thèse de doctorat _Université AIXE MARSEILLE 1, 1999.

4- BOUCHEHAME. Yasmina, __ «*Investigation sur la performance thermique du capteur à vent pour un rafraîchissement passif dans les régions chaudes et arides. Cas de Ouargla*» Thèse de doctorat d'état, Université de Constantine, 2004.

5- CHAFI. Fatima Zohra,__« *Contribution de la diffusion de l'humidité sur le transfert de chaleur à travers les milieux poreux. Application aux matériaux de construction*. » Thèse de magister en génie climatique, 2000.

6- FRAISSE. Gille,__« *La régulation thermique des bâtiments tertiaires: application de la logique floue à la régulation centrale du chauffage en régime intermittent*. » Thèse de doctorat : INSA de Lyon. 1997.

7- HAMOUDA. Abida, __« *Etude de la performance thermique et la consommation énergétique d'un bâtiment préfabriqué à Biskra* » Thèse de magister Septembre1996, Université de Biskra.

8- SOLANGE. V.G Goulart,__*Thermal inertia and natural ventilation – Optimisation of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil*,__Thesis for the degree of Doctor of philosophy, Architectural Association of architecture Graduate School, October, 2004.

9- ZEDDOURI. Aziz, _« *Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique de la plaine alluviale de Guelma (Essai de modélisation)* » Thèse de magister en hydrogéologie Université Badji Mokhtar, Annaba 2003.

Revues :

1- ABDOU.S et BOUMAZA.M, *Investigation sur l'intégration climatique dans la maison traditionnelle du Ksar de Ouargla*, Revue science et technologie, revue semestrielle de l'université Mentouri: Constantine N°21, 2004.

2- AL-HOMOUD. Mohammad. S, *Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials*, Building and Environment 40 (2005) pp 353–366 .

3- AL-JABRI. K.S and al, *Concrete blocks for thermal insulation in hot climate*, Cement and Concrete Research (2004) .

4- ALEXANDROFF. J. M, *Du bon usage de l'énergie*, Techniques et architecture N°315 Juin –Juillet, 1977.

5- AL-SALLAL. F, *Sizng windows to achieve passive cooling, passive heating, and daylighting in hot arid regions*, Renewable Energy, vol. 14, nos 1-4, pp 365-371.

6- ANSI/ASHARE 55-2004, In «Bioclimatic buildings for different climates in China », Architectural science review, volume 48, june 2005, pp188-1189.

7- ARCHIBAT, *Villes architecture et développement durable*. Revue maghrébine d'aménagement de l'espace et de la construction N°9, Tunisie, Décembre 2004

8- Bulletin des énergies renouvelables N°2 Décembre 2002.

9- ARAUJO PRADO. Racine Tadeu , FERREIRA. Fabiana Lourenço, *Measurement of albedo and analysis of its influence the surface temperature of building roof materials*, Energy and Buildings 37 (2005), pp 295-300.

10- ASAN, H and SANCAKTAR , Y.S, *Effects of wall's thermophysical properties en time lag and decrement factor*, Energy and Buildings, 1998, vol 28: pp159-166.

11- ASAN. H, *Effects of wall's insulation thickness and position on time lag and decrement factor*, Energy and Buildings 28 (1998), pp 299-305.

12- BALARAS. C.A, *The role of thermal mass on the cooling load of buildings. An overview of computational methods*, Energy and Buildings, 1996, vol 24: pp 1-10.

13- BARTHOD. Christian, Ministère de l'agriculture et de la pêche, Chronique des négociations internationales récentes, Revue Aménagement et Nature, N° 115automne 1994

14- BOJIC. M.L, LOVEDAY . D.L, *The influence on building thermal behaviour of the insulation / masonry distribution in a three - layered construction*, Energy and Buildings 26 (1997), pp153-157.

15- BOJIE. Milorad, YIK Francis, *Cooling energy evaluation for high- rise residential buildings in Hong Kong*, Energy and Buildings 37 (2005) 345-351.

16- BRETZ. S, AKBARI. H and ROSENFELD. A, *Practical issues for using solar-reflective materials to mitigate urban heat islands*, Atmospheric Environment 32 (1) (1998), pp95-101.

17- CHELGHOUM. Z et BELHAMRI. A, *Habitat à bas profil énergétique*, Revue des Energies Renouvelables: Journées de thermique, 2001.

18- CHENG.V, NG. E and GIVONI. B, *Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate*, Solar Energy 78 (2005), pp528-534.

19- CUBA. Gellert. K,1970, In «The design of buildings in hot dry climates and the internal environment», Build International (6),England: Applied Science Publishers Ltd, 1973 p59-60

20- CUHADAROGLU. B, *Thermal conductivity analysis of a briquette with additive hazelnut shells*, Building and Environment 8 (2004), pp 1-7.

21- DANBY. Miles, *The design of buildings in hot dry climates and the internal environment*, Build International (6),England: Applied Science Publishers Ltd,1973, p55-75.

22- DEPEKECKER. Patrick, *Maîtrise des ambiances habitées et repérage de la qualité thermique*, Annales de l'I.T.B.T.P N° 443 Mars - Avril 1986. Série Théories et méthodes de calcul 283.

23- DEVAL. J.C, *Le confort thermique en climat tempéré*, Revue de physique appliquée Juillet 1984, Vol. 19.

24- DIAZ. C, *Climate –responsive design for non-domestic buildings in warm climates-Optimisation of thermal mass for indoor cooling*, Environment & Energy Programme. London, Architectural Association Graduate School, 1994.

25- DINGYI, Yang and al, *Research on improving the heat insulation and preservation properties of small-size concrete hollow blocks*, Cement and Concrete Research 33 (2003) pp1357–1361.

26- DING. Wenting, HASEMI Yuji, Yamada Tokiyoshi, *Natural ventilation performance of a double–skin façade with a solar chimney*, Energy and Buildings, 37 (2005), pp 411-418.

27- DURANT. Eric, *L'habitat solaire et maîtrise de l'énergie*, Revue Systèmes Solaires N°17/18 Octobre/Novembre 1986, p10.

28- FENERTY-McKIBBON. Bev et KHARE. Anshuman, *Canada post delivers energy conservation*, Centre for Innovative Management, Athabasca University, Canada, Energy and Buildings 15 June 2004, pp224-225 .

29- GIVONI.B,_ *Performance and applicability of passive and low-energy cooling systems,* Energy and Buildings vol 17, 1991, pp177-199.

30- GIVONI. B, __ *Effectiveness of mass and night ventilation in lowering the indoor daytime temperatures. Part I: 1993 experimental periods,*_ Energy and Buildings (1998). vol. 28: pp 25-32.

31- GOODHEW. Steven, GRIFFITHS. Richard, __*Sustainable earth wall to meet the building regulations,*__ Energy and Building 37 (2005), pp451-459.

32- HASHEM, Akbari et al, __ *Peak power and cooling energy savings of shade trees,* Energy and Buildings, vol 25, (1997), pp139-148.

33- HUIZENGA. C, ARENE. E,__*A model of human physiology and comfort for assessing complex thermal environments,*__ Building and Envir, 2001.36 : pp 691-699.

34- KOLOKOTRONI. M and YOUNG. A. N, __ *Guidelines for Bioclimatic Housing Design in Greece,*__ Building and Environment, (1990). Vol. 25 (N. 4): pp.297-307.

35- KONTOLEON. K, BIKAS. D. K, __ *Modeling the influence of glazed openings percentage and type of glazing on the thermal zone behaviour*,_ Energy and Buildings 34, 2002, pp. 389-399.

36- Les cahiers techniques du bâtiment N° 240 Février 2004.

37- Les cahiers techniques du bâtiment N°245 Septembre 2004, p83.

38- Les cahiers techniques du bâtiment N° 246 Octobre 2004, p48.

39- Les cahiers techniques du bâtiment: *Le retour du bioclimatique en maison individuelle*, N°246 Octobre 2004.

40- Les cahiers techniques du bâtiment: *La RT2005 un défit énergétique à l'échelle de l'Europe*, N°246 Octobre 2004.

41- LE MONITEUR ARCHITECTURE a m c N° 140 Février 2004, pp 89-93.

42- PENEAU. Jeans Pierre, (C.E.R.M.A U.P. Nantes), _Eclipse des méthodologies: Les cahiers de la recherche architecturale N°13, Octobre 1983, Editions PARENTHESES.

43- MALDONADO. Eduardo,__*Towards the wider use of passive cooling in buildings,* Solar Architecture, 1995

44- MEFTI. A, __ *Evaluation du potentiel énergétique solaire,*_ Bulletin des énergies renouvelables N°2 Décembre 2002.

45- MILBANK.N.O, LYNN. J.H, __ *Thermal response and the admittance procedure,* BSE, vol. 42, May 1974, pp38-51.

46- NOREN Assima and al,__*The effect of thermal inertia on energy requirement in a Swedish building- Results obtained with three calculation models*,_ International Journal of Low Energy and Sustainable, Vol 1, April 1999, pp1-16.

47- SHAVIV. Edna,____*On the determination of the optimum thermal mass in the Mediterranean climate*,__ Energy and Building, PLEA 1984, pp385-390.

48- OZKAHRAMANA. H.T, SELVERB. R, I-SÝK. E.C,_*Determination of the thermal conductivity of rock from P-wave velocity*,__ International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences , 41 (2004), pp 703–708.

49- O.M.M (Organisation météorologique mondiale), __ *Météorologie et hydrologie urbaines*, N°853 Genève, Suisse 1997.

50- O.M.M (Organisation météorologique mondiale), _*Observer l'environnement de la planète*: *Le temps, le climat, l'eau*, _ N°796 Genève, Suisse 1994.

51- PAPADOPOULOS A.M, _*State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments*,_ Energy and Buildings 37(2005), pp 255-265.

52- ROSENFELD. A. H , et al , __ *Mitigation of urban heat island: materials unity programs, and updates*,__ Energy and Buildings 22 (1995), pp255-265.

53- S. Assyl : Revue de SONATRACH, _ Réseau N°3 Avril 2004.

54- SHAVIV. E, YEZIOTO, et al, ___*Thermal mass and night ventilation as passive cooling design strategy*,_ Renewable Energy 28, 2001, pp 455-452.

55- SOEBARTO, V. I,_ *A "New" approach to passive design for residential buildings in a tropical climate*,_ Sustaining the Future - Energy, Ecology, Architecture, Proc. Of PLEA'99, Brisbane, Australia

56- SÖYLEMEZ. M.Sait, ___ *On the effective thermal conductivity of building bricks*, Building and Environment 34 (1999), pp1-5.

57- SZOKOLAY. S, __*Thermal design of houses for warm-humid climates*, _ Building and Urban Renewal – PLEA, Louvain-La-Neuve, Belgium, 16-18 July 1996.

58- TAHA. H, AKBARI.H, ROSENFELD. A and HUANG. J,__*Residential cooling loads ad the urban heat island the effect of albedo*, 1988, _ Building and Environment 23 (4), pp 271-283.

59- WAKILI. K. Ghazi , TANNER. Ch, _ *U-value of a dried wall made of perforated porous clay bricks Hot box measurement versus numerical analysis*,_ Energy and Buildings 35 (2003), pp675–680.

Rapport d'étude :

1- ALLARD. F 1998, In « Thermal inertia and natural ventilation – Optimisation of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil » Octobre,2004.

2- AL-MOFEEZ. A. Ibraheem, *Field test results of interior VS exterior insulation of thermal mass in extremely hot-arid climates*, Raport d'étude, Saudi Arabia King Faisal University Department of Architecture, 1993.

3- AWADHI et SAYIGH, 1990, In « *Investigation sur l'intégration climatique dans l'habitation traditionnelle en régions arides et semi arides d'Algérie: Cas du Ksar de Ouargla et de la médina de Constantine* », ABDOU. S, 2004.

4- AXFORD.S.J, 1983, In « *Field test results of interior VS exterior insulation of thermal mass in extremely hot-arid climates".*

5- BALCOMB. J 1983, In « Thermal inertia and natural ventilation – Optimisation of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil » Octobre,2004.

6- BEN HABIB. R, AIT MOKHTAR. A et ALLARD.F, *Analyse bioclimatique de l'habitat traditionnel des régions désertiques nord sahariennes*, Rapport d'étude,Université de la Rochelle et l'institut USTO d'ORAN, 1995.

7-C.S.T.B, *Impact de l'inertie thermique des bâtiments sur le confort d'été*, Rapport d'étude, 2004.

8- EBEN SALAH M.A, *Impact of thermal insulation location on building in hot dry climates*, Rapport de recherches Saudi Arabia: King Saud University, Department of Architecture and building sciences, 5 june 1989.

9- FITCH .J.M et BRANDTH .D, *Primitive architecture and climate* "Scientific American" Décembre 1960, p138 In « Architecture et volupté thermique» , Paris: Editions Parenthèses, 1981.

10- GUYOT. Alain, *La microclimatique des villes et les formes urbaines Degrés de pertinence d'une démarche bioclimatique* Groupe A.B.C école d'architecture, Marseille, 1987.

11- HOLLMULLER. P, LACHAL. B et ZGRAGGEN J.M, *Rafraîchissement de bâtiments par déphasage thermique contrôlé*, Rapport d'étude, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne ,28 Septembre 2005.

12- KZEOUI. H, A.TAHAKOURT, A.AIT –MOKHTAR ,R.BELARBI, *Utilisation couplée de l'énergie solaire et des matériaux locaux dans le bâtiment*, LTMGP, Université de Béjaia, Algérie, LEPTAB, Université de la Rochelle, France, Février 2002.

13- IBRAHIM. Ahmed et al, 1986, In « Impact of thermal insulation location on building in hot dry climates ».

14- LECHNER. N, 1991, In «Thermal inertia and natural ventilation – Optimisation of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil» Octobre,2004.

15- LIMAN. K, ALLARD. F, *Ventilation – thermal mass subtask*, Final report, France University of La Rochelle, 1995.

16- NEZZAR. Salah et GOURDACHE Mounir *Etude des performances énergétiques d'une conception bioclimatique en région aride* Laboratoire des énergies renouvelables Institut de Génie Mécanique Copyright © 1999-2004. World Energy Council 5th Floor, Regency House, 1-4 Warwick Street, London W1B 5LT, UK

17- Santamouris et Asimakopoulos, 1996, In « Thermal inertia and natural ventilation – Optimisation of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil» Octobre, 2004.

18- SHAVIV. E and CAPELUTO. I. G (1992), In « Thermal inertia and natural ventilation – Optimisation of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil » Octobre,2004.

19- SHAVIV Edna, CAPELUTO Isaac. G and YEZIORO. Abraham, *A simple design tool for determining the effectiveness of thermal mass and night ventilation as passive cooling design strategy*, Faculty of Architecture and Town Planing Technion, Israel Institute of Technology . 1996

20- TRAISNEL. Jean Pierre (LTMU-CNRS, UMR 7136), *Prospective Energie/Habitat dans l'optique du facteur 4* Institut français d'urbanisme ETUDE ECODEV-CNRS: HABITAT ET DEVELOPPEMENT DURABLE, ENR 13 mai 2004.

21- YANNAS. S, MALDONADO. E, *Handbook on passive cooling – Comfort Climate &Building Design*. London and Porto, European Commission Pascool Project, Joule II-Programme, 1995.

22- ZUHAIRY. Akram. A and SAYIGH. A.A.M, *Investigating the thermal responses of the contemporary villa type house of Saudi Arabia*, Rapport d'étude, ,U.K: University of Reading, Whiteknights, Department of Engineering, 1992.

Documents gouvernementaux :

1- A.D.E.M.E (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) *La lettre de l'A.D.E.M.E* Octobre 1997, In Eco conception des bâtiments.

2- D.P.A.T Direction de Planification et d'Aménagement du Territoire de Guelma, Monographie 2004.

3- La résolution 974 année 1991, relative aux sources d'énergies renouvelables et à l'hydrogène solaire

4- MARTI. Kurl, «*Catalogue d'élément de construction avec calcul de la valeur U* Edition : Office Fédéral de l'Energie OFEN Bern, 2002

5- Ministère de l'énergie, *Bilan énergétique national de l'année 1999/* DGE, 2000, EPE Novembre, 2000.

6- Ministère de l'équipement des transports, du logement, du tourisme de la mer: Centre d'Etude sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions techniques C.E.R.TU : Mémento thermique du bâtiment pour le chargé de constructions publiques, *Confort thermique*, Lyon , juillet 2003.

7- Ministère de l'habitat D.T.R C 3-4 Climatisation: Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments. CNERIB (Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrés du Bâtiment) Alger PAO- 1998

8- Ministère de l'habitat, Document technique réglementaire(D.T.R.C3-2) Réglementation thermique des bâtiments d'habitation Règles de calcul des déperditions calorifiques Fascicule1,Centre National d'Etude et de Recherche Intégrées du Bâtiment CNERIB, Alger 1998.

9-Organisme National de Contrôle Technique de la Construction du Centre, *Réglementation technique Algérienne de la construction Recueil de normes et documents techniques réglementaires* Edition CTC Centre, Juin 2000.

10- P.D.A.U GUELMA

11- Rapport de la CEE : proposition de directive du parlement européen et du conseil sur la performance énergétique des bâtiments, Bruxelles le 11/05/2001.

12- Rapport de Sonatrach: société nationale d'hydrocarbure In « Etude des performances énergétiques d'une conception bioclimatique en région aride »

13- The ECD Partnership, rapport CCE (DG XII) n° EUR 13094, 1990.

14-VILA. Jean Marie, *Notice explicative de la carte géologique à 1/50000 Guelma (54)* ORGM : Office National de la Recherche Géologique et Minière, Edition du Service géologique de l'Algérie Boumerdes 1993.

Compte-rendu de colloques ou congrès :

1- BAHRI. S, GHRAB-MORCOS. N et EHINGER.P, « Utilisation des fonctions de transfert pour déterminer la réponse thermique d'une paroi de forte inertie. » , European conference on energy performance and indoor climate in buildings, Lyon, novembre 1994.

2- BENAZOUZ et BELHIRECHE, 1996, In acte de séminaire sur « L'économie de l'énergie pour l'habitat en grand nombre », Alger 18/19 Novembre 1997.

3- CARLOS. J, GUISI et al, «The use of computer simulation to establish energy efficiency parameters for a building code of a city in Brazil » Building Simulation Conference Holland, 2003.

4- CORBELA. O, CORNER.V. N, « The window relevance for the architectonic design in tropical climate », International Conference on Passive and Low Energy Architecture-PLEA 2002, 22-24 July, Toulouse, France

5- KEILHOLZ. Werner, « Simuler directement à partir de la CAO; prise en compte des masques » , 4èmes journées TRNSYS francophones Lyon, 10 Septembre 2001SimCad 1.3 : CSTB http://software .cstb.fr.

6- MALDONADO. E and OLIVIERA FERNANDES.E, «Building thermal regulations: why has summer been forgotten? »1993, In Proceeding of the 3rd European Conference on Architecture, Florence Italy, pp 626-630.

7- SALR. C, «Conception des formes urbaines et contrôle énergétiques» Actes du colloque Nantes 25/26 Avril 1986

8- SIDLER. Olivier, directeur de la Sté ENERTECH, «L'inertie thermique en climat méditerranéen. Confort et consommations d'énergie ». Montpellier, Colloque le 15/05/2003. Email : silder@club-internet.fr

9- SZOKOLAY. S, « Passive and low energy design for thermal and visual comfort ». Ecothecniques, 3rd International PLEA Conference, Mexico City: Eds A.Bowen and S. Yannas. Pergamon Press, Oxford,1985, pp 6-11

10- Thelier. F et al, «Les outils d'évaluation du confort thermique.» journée SFT/ CSTB, 04/02/2003 Nantes.

11- VAN DER MAAS. J, FLORENTZOS. F, et al, *Passive cooling by night ventilation*. European Conference on Energy Performance and Indoor Climate in Buildings, vol., Lyon, France, 1994.

12- YACEF. A, Séminaire sur « L'économie de l'énergie » Alger, Avril 1997

Dictionnaire et encyclopédie:

1- MICHEL. Albin, _ *Le grand atlas de l'architecture mondiale*, __ Edition originale Great architecture of world, _ MITCHELL BEAZLEY PUBLISHERS, _ France: Edition française refondue et complétée: ENCYCLOPAEDIA UNIVERSALIS S.A, 1982.

2- Collections Microsoft Encarta: 2005, 2006

3-DE VIGAN. Jean, *Dicrobat dictionnaire général de bâtiment*, Edition ARCATURE 2003

Sites Internet:

1- Groupe A.B.C, __ [Enligne] http://www. Marseille.archi.fr/~abc/texte/protectsolweb.PDF

2- Marsh. A, __ [Enligne] SQUone- www. Squ1.com

3- MICHEL. Jean Bernard, __«Cours de thermique » *HES.SO 2004* Ecole d'ingénieurs de Genève [Enligne].

4- NARAYAN. Thulasi, ___«A passive courtyard home in Jaipur, India: design analysis for thermal comfort in a hot desert climate», __ Arizona State University, __ [En ligne] Thulasi.Narayan@asu.edu Last Saved on: 03/02/2005.

5- PALHEIRE. Jean Yves _«Confort thermique » [Enligne] JEAN-YVES. PALHEIRE@ ac-amiens.fr

6- ROSTAND. Edmond, __« Les maisons doivent être construites avec le climat »[Enligne] Extrait de: www.maison-solaire.com (page consultée le 25/02/2004)

7-STERLING. Elia, [Enligne] www.sterlingiaq.com page consultée le 12/05/2005

8- [Enligne] Http://www.esru.strath.ac.uk/Reference/concepts/thermalcomfort.htm, Dernière mise à jour le 01/01/2005

9- [Enligne] www.outilsolaire.com

10-Un article de Wikipédia, l'encyclopédie libre : [En ligne] http://fr.wikipedia.org/wiki/Travertin Dernière modification le 10 février 2006 à 18:51.

11- Le travertin [En ligne] www.atelier-de-pierre.com/letravertin.php Dernière mise à jour le 13/02/2006.

12- STEDI Project Coupling TRNSYS and CFD for building simulation TRNSYS User day 24/03/2003 Sophia- Antipolis,France Application service provision –Best practice [En ligne] www.asp-bp.org

13-Type 155–un nouveau type TRNSYS pour coupler TRNSYS et MATLAB Exemple d'application W. Keilholz, M. Kummert, P. Riederer [En ligne] http://sel.me.wisc.edu/trnsys/

14- [En ligne] http://www.transsolar.com

15- TRNSCLIMATime Series of Meteorological Data for System Simulation Region: Iberia Version1.0 [En ligne] www.aiguasol.com

Annexes

Annexe -I-

I-1- Définition des concepts :

Macroclimat : Climat d'un vaste espace géographique : continent, planète.

Mésoclimat : Climat d'échelle intermédiaire d'ordre de superficie égale à la dizaine ou centaine de kilomètres

Topoclimat: Climat d'échelle locale étudié en fonction du relief.

Microclimat: Climat d'échelle locale de quelques Km^2 à quelques m^2.

(Source: Gérard Guyot, 2000)

Température sèche de l'air (ta, tair ou tai): Grandeur physique appelée température sèche de l'air ou plus simplement température de l'air. C'est la température qui est dite sèche et non l'air ambiant qui a un taux d'humidité variable et peut même être saturé de vapeur d'eau. Désignée aussi sous le nom de « la température de consigne ».

Température humide : ou mouillée, elle n'est égale à la température sèche que dans le cas d'un local saturé d'humidité (100% en volume)

Température radiante des parois: température ressentie en un point d'une pièce sous l'effet du seul rayonnement de chacune des parois. L'influence de chacune d'elle dépend de sa proximité du point de mesure (en fait de l'angle solide sous lequel elle est vue).

Température d'ambiance ou température "globe": température mesurée au milieu d'une pièce à 1.5m de hauteur par un thermomètre globe qui établit la moyenne entre la température (sèche) de l'air et la température radiante des paris. L'air est supposé sans mouvement (air calme). C'est à elle que fait référence la réglementation thermique lorsqu'elle indique qu'un logement doit pouvoir être chauffé à 18°C lorsqu'à l'extérieur il fait la température de base. On l'appelle aussi température résultante.

Température effective: indice thermique qui prend en compte les températures globe et humide d'une pièce ainsi que la vitesse de l'air. Développée principalement pour les besoins de la climatisation, elle a une structure semblable à la "température résultante équivalente" de M.Missenard.

Température de base: température (extérieure) minimale de l'air pour laquelle la température (intérieure) d'ambiance de 18°C est garantie. C'est la température qui sert de référence à la détermination de la puissance des installations thermiques. Ce n'est jamais le minimum absolu du lieu afin d'éviter le surdimensionnement des installations.

(Source:André Bonhomme, 1986)

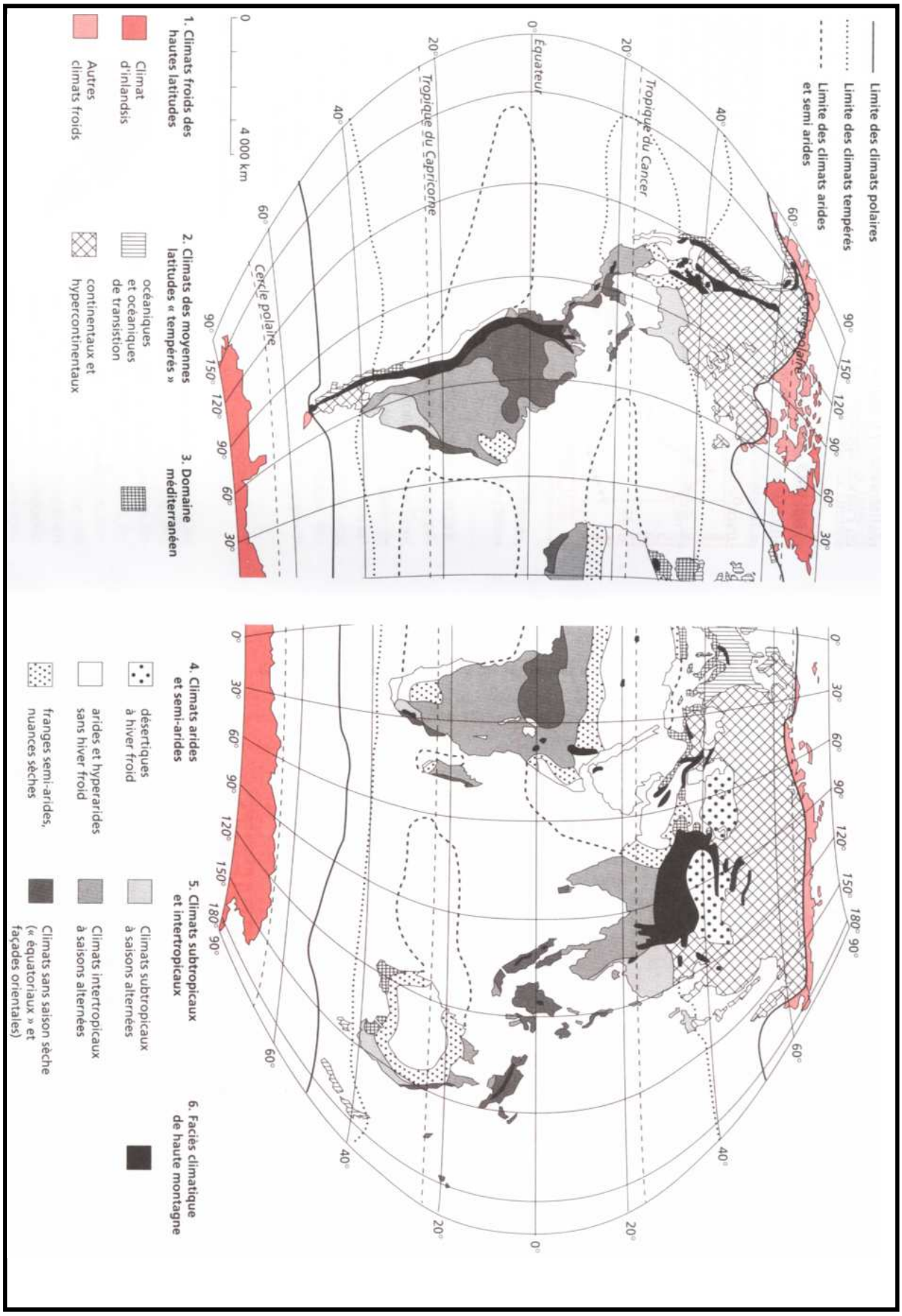


Fig-I-1-Climats du monde (Source : Martine Tabeaud 2000)

I-2- Aspect géométrique du soleil

I-2-1- La déclinaison (δ) :

La déclinaison δ du soleil est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial de la terre où :

$$\delta = 23.45 \sin \times (280,1 + 0, 9863\ n) \quad \text{……..1}$$

Avec

n : le nième jour de l'année

1^{er} janvier correspond à n = 1

1^{er} février correspond à n = 31 + 1

Le tableau si dessus indique les valeurs de n :

Mois	n correspond au jours de l'an
Janvier	i
Février	31 + i
Mars	59 + i
Avril	90 + i
Mai	120 + i
Juin	151 + i
Juillet	181 + i
Août	212 + i
Septembre	243 + i
Octobre	273 + i
Novembre	304 + i
Décembre	334 + i

(Source:Koenigsberger et al, 1974)

I-2-2- La position du soleil

La position du soleil est déterminée par la l'azimut et la hauteur solaire.

I-2-2- 1* L'azimut:

C'est l'angle que fait le plan vertical fixe (méridien) avec le plan vertical de l'astre. Compté de0 à 360°de gauche vers la droite de l'observateur. L'azimut du soleil à son lever et à son coucher peut être obtenu par la formule :

$$\cos azim = \sin \delta / \cos \varphi \quad \text{……..2}$$

Au delà du coucher et du lever du soleil, l'azimut se calcul par la formule :

$$\sin azim = \sin \omega \times \cos \delta / \cos h \quad \text{……..3}$$

Avec **ω:** angle horaire, **h:** hauteur solaire et **φ:** latitude du lieu

I-2-2-2* La hauteur solaire :

C'est l'angle que fait le rayon visuel de l'observateur avec le plan de l'horizon. Compté de 0 à +90°dans l'hémisphère nord et de 0 à -90° dans l'hémisphère sud. La hauteur du soleil au cours de la journée se calcule par la formule :

$$\sin h = \sin \varphi \times \sin \delta + (\cos \varphi \cos \omega) \times \cos \delta \quad \text{……..4}$$

I-2-2-3* L'angle horaire :

C'est l'angle compté dans le sens du mouvement apparent du soleil Il est nul au moment du passage du soleil au méridien. Exprimé en degré de + 180 à -180° dans les deux sens à partir du méridien d'origine, soit en heures de -12 h à 0h avant midi et de o h à + 12 h après midi.

24h = 360°

1h = 15°

4m = 1°

4s = 1'

I-3- <u>Données météorologiques de Guelma</u> :

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
T max (°C)	15,9	16,8	19, 7	21,8	27,1	32,7	35,8	36,3	31	27,3	20,3	16,8
T min (°C)	5,1	4,6	6,2	7,8	12	16,3	18,4	20	17,3	13,8	9,3	6,5
T moy (°C)	10	10.3	12.5	14.7	19.2	24.3	27	27.7	23.5	19.8	14.3	11.2
H max (%)	92,3	93,9	93,5	94,2	92,7	88,3	82,7	82,2	89,6	90,8	92	91,8
H min (%)	49,9	46,9	43,2	42,5	39,3	33	29,1	29,3	37,6	39,2	46,8	50,7
H moy (%)	75.7	75.4	73	71.9	69	60.5	55.3	56.4	66.7	68.3	72.8	75
Précipitat (mm)	105.3	62.3	48.5	72.5	52	17.8	2.6	14.6	52.7	37.1	85.3	137.7
Vitesse du vent (m/s)	1.8	1.8	1.6	2	1.8	1.9	2	1.8	1.6	1.5	1.9	2
Insolation (heure)	160.9	182.7	225.1	241.4	264.4	307.4	353	310.2	243.8	223	161.5	246.1
Evaporatio (mm)	52.3	49.6	70.5	77.8	102.4	145.5	186.8	184.5	117.3	105.1	71.5	60.8

(Source : Météo, 2004)

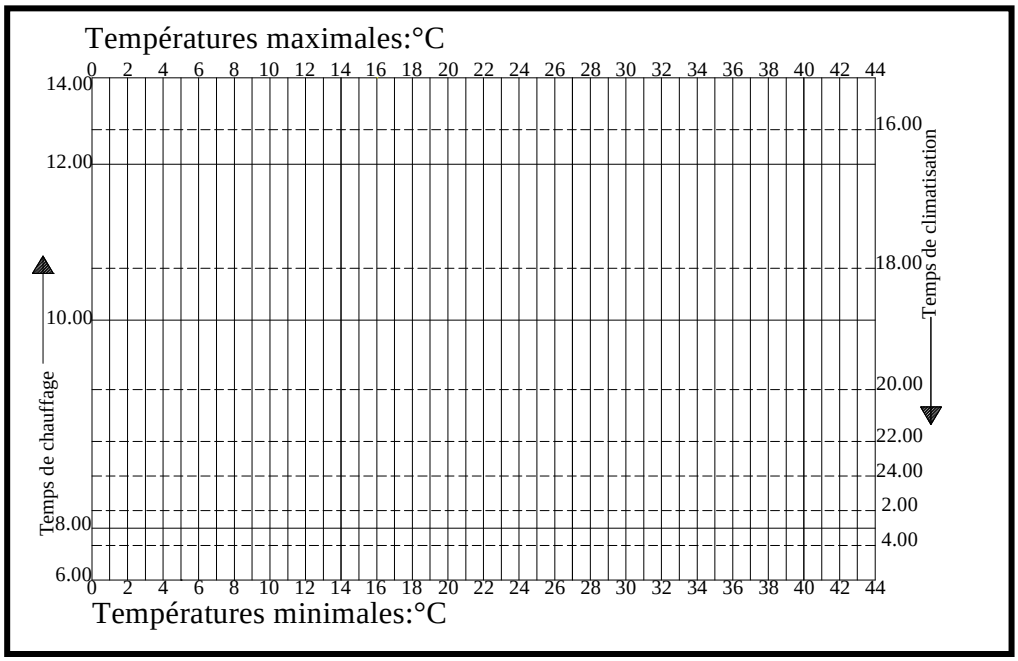


Fig -I-2- Calculatrice des températures horaires (Source: S V Szokolay, 1979)

T °C / H												
				10	15	20			20	15	10	
0.00	7.30	7.10	9.0	10.6	15.9	20.5	23.0	24.3	21.0	16.5	11.7	8.80
2.00	6.60	6.30	8.20	9.80	15.0	19.7	22.0	23.4	20.2	15.7	11.0	8.10
4.00	5.80	5.40	7.10	8.70	13.9	18.4	20.7	22.1	19.2	14.7	10.1	7.20
6.00	5.10	4.60	6.20	7.80	11.9	16.3	18.4	20.0	17.3	13.8	9.80	6.50
8.00	6.10	5.90	7.70	9.10	14.4	19.0	21.2	22.8	19.8	14.1	10.5	7.70
10.00	10.8	11.1	13.4	15.20	20.6	25.6	28.4	29.5	25.2	21.0	15.3	12.0
12.00	14.1	15.0	17.7	19.6	25.0	30.4	33.4	34.1	29.0	25.1	18.7	15.2
14.00	15.9	16.8	19.7	21.8	27.1	32.7	35.8	36.3	31.0	27.3	20.3	16.8
16.00	14.9	15.8	18.4	20.4	25.9	31.3	34.4	35.1	29.9	26.1	19.3	15.9
18.00	12.1	12.5	15.0	16.9	22.2	27.4	30.1	31.2	26.7	22.6	16.5	13.2
20.00	9.20	9.30	11.4	13.0	18.4	23.3	25.9	27.1	23.2	19.0	13.8	10.5
22.00	8.10	8.20	10.0	11.7	17.0	21.8	24.1	25.5	22.0	17.6	12.5	9.50
Mois	**Janv**	**Févr**	**Mars**	**Avril**	**Mai**	**Juin**	**Juille**	**Août**	**Sept**	**Oct**	**Nov**	**Déc**

Fig-I-3- Courbes d'égales températures sur le tableau des températures horaires de Guelma.

I-4- L'analyse bioclimatique

I-4-1-La méthode de Steeve Szockolay :

La méthode de S. Szocolay consiste à définir les zones de contrôle potentiel, projetées par étapes sur le diagramme psychrométrique Fig-1-.

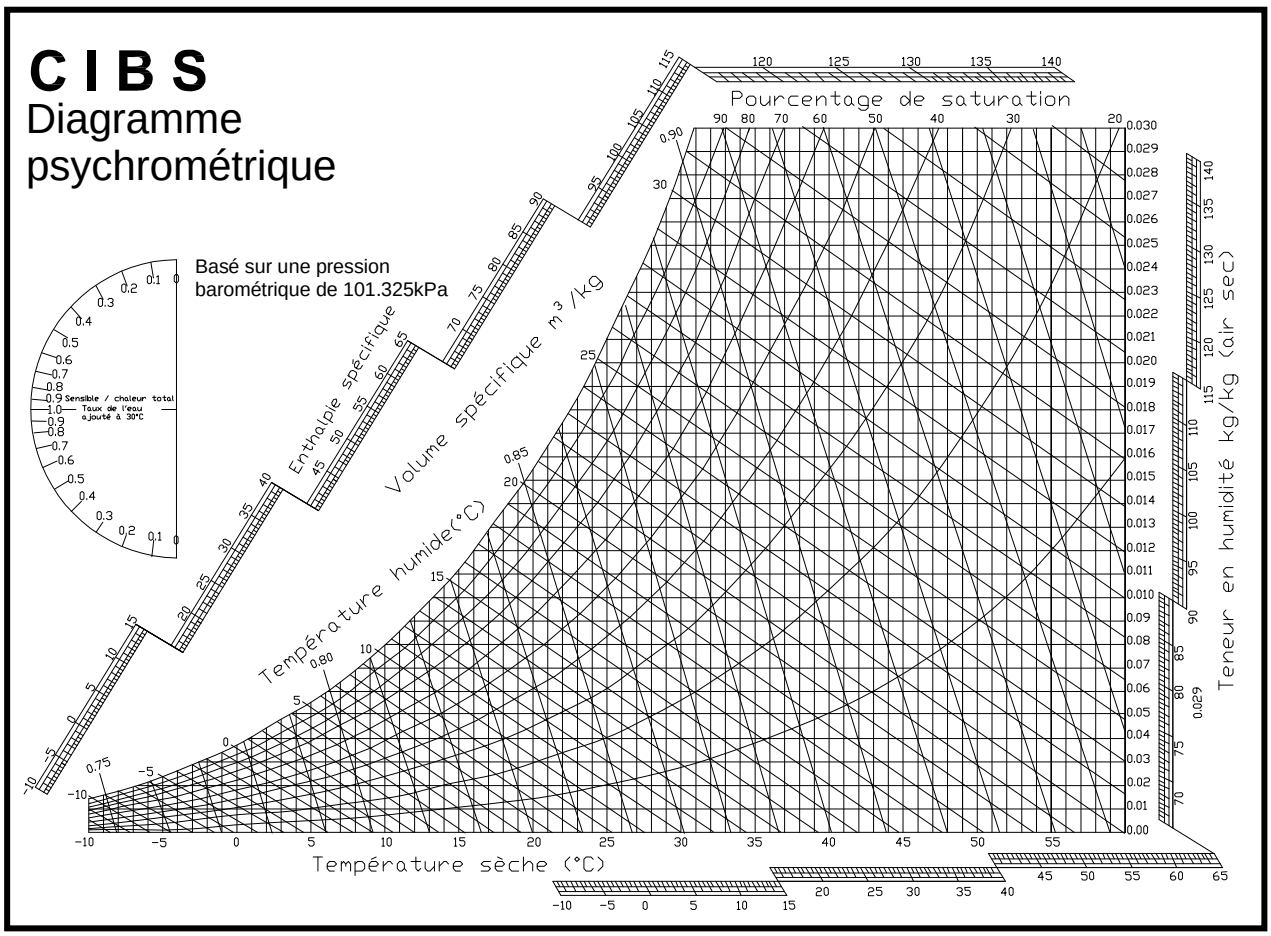


Fig-1- Diagramme psychrométrique (Source : S. Szocolay, 1979)

I-4-1-1* La zone de confort:

Définie par son point neutre, obtenu par l'intersection de la température neutre et l'humidité relative portée à 50% d'humidité relative. Cette zone est délimitée par quatre points de températures humides où :

Tn = 17.6 + (0.31× Tm)

Tm = ∑ tm / 12

Le point 1 et 2 sont portés à la ligne d'humidité absolue 12 g / Kg avec :

T1 =Tn + (Ahn -12)× 0.025 ×(Tn-14)-2 (Ahn : l'humidité absolue du point de neutralité)

T2 =T1+4

Le point 3et 4 sont portés à la ligne d'humidité absolue 4 g / Kg avec :

T3 =T1 + 0.2× (T1 – 14)

T4 =T2 + 0.2 × (T2 – 14)

I-4-1-2* La zone de contrôle potentiel pour les périodes froides :

C'est la zone de chauffage passif, délimitée par un seul point de la température humide portée à la courbe de saturation HB =100 % où :

T5 =Tn + 0.36 - 0.0025 × Hv

(Hv représente la moyenne journalière totale d'irradiations solaires en Wh/m² d'une surface verticale sud pour le mois le plus froid).

I-4-1-3* La zone de contrôle potentiel pour les périodes chaudes :

4-1-3*a- Zone d'effet de masse :

La détermination de la variation moyenne de la température pour le mois le plus chaud (dTm) permet d'obtenir le premier point de cette zone.

dTm = Tmoy .max - Tmoy .min

Les autres points qui délimitent cette zone sont :

T6 =T2 + 0.5 (dTm) situé à la ligne d'humidité absolue qui correspond à 12g/ Kg

T7 =T6 - 0.05 (T6 -14) correspond à la ligne 14g/ Kg d'humidité absolue.

T 8 = T6 -0.2 (T6 -14) correspond à la ligne 4g/ Kg d'humidité absolue.

La limite d'humidité la plus élevée correspond à la courbe d'HR du premier point de la zone de confort.

I-4-1-3*b- Zone d'effet de masse avec ventilation nocturne :

T9 = T2 + 0.8 (dTm) le point correspond à la ligne 12g/ Kg d'humidité absolue

T10 =T9 - 0.05 (T9 -14) le point correspond à la ligne 14g/ Kg d'humidité absolue.

T11 = T9 - 0.05 (T9 -14) le point correspond à la ligne 4g/ Kg d'humidité absolue.

I-4-1-3*c- Zone de ventilation naturelle – mouvement d'air sur la surface de peau :

Pour 1m/s: **T12 = T2 + 5** le point correspond à la ligne d'humidité absolue 12g/ Kg.

Pour1.5m/s:**T12 = T2 +6.5** le point correspond à la ligne12g/ Kg d'humidité absolue

Pour1m/s : **T13 = T12 + 0.1 (T12 – 14)** le point correspond à la ligne 4g/ Kg d'humidité absolue.

Pour 1.5 m/s : **T13 = T12 + 0.1 (T12 – 14)** le point correspond à la ligne4g/ Kg d'humidité absolue.

T14 = T1 mais le point sera localisé sur la courbe 90 % d'humidité relative.

T15 = T12 – 0.18 (T12 –14) le point sera localisé sur la courbe 90 % d'humidité relative .

I-4-1-3*d- Zone de refroidissement évaporatif direct :

Délimitée par un seul point où la température limite la plus élevée qui délimite cette zone est :

T16= Tn +12

Les limites supérieures et inférieures de cette zone sont tracées à partir des lignes de températures humides du deuxième et troisième point de la zone de confort.

I-4-1-3*e- Zone de refroidissement évaporatif indirect :

Délimitée par un seul point où la limite supérieure de cette zone correspond à la ligne 14g/ Kg d'humidité absolue où :

T17= Tn +15

I-4-1-4* Représentation des conditions climatiques qui prévalent :

Chaque mois est représenté par une ligne dessinée entre deux points :

- La température moyenne maximale mensuelle avec l'humidité relative minimale.
- La température moyenne minimale maximale avec l'humidité relative maximale.

I-5- Méthode de Mahoney

Tableau -1-

Localisation	Nord Est Algérien
Longitude	7°25' E
Latitude	36°28' N
Altitude	500 m

Température de l'air en ℃

Mois / T℃	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
T.mensuelle max	15,9	16,84	19,67	21,82	27,14	32,74	35,83	36,31	31,02	27,28	20,28	16,83
T.mensuelle min	5,06	4,63	6,18	7,83	11,95	16,27	18,45	20,02	17,35	13,77	9,35	6,53
(Δ) mensuelle	**10,84**	**12,21**	**13,49**	**13,99**	**15,19**	**16,47**	**17,38**	**16,29**	**13,67**	**13,51**	**10,93**	**10,3**

AMT = Tmax + Tmin /2
AMR = Tmax - Tmin

Tmax = **36,31**	AMT=**20,47**
Tmin = **4,63**	AMR = **31,68**

Humidité relative en %

Mois / Hum	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
H. max	92,3	93,9	93,5	94,2	92,7	88,3	82,7	82,2	89,6	90,8	92	91,8
H. min	49,9	46,9	43,2	42,5	39,3	33	29,1	29,3	37,6	39,2	46,8	50,7
h. moy	71,1	70,4	68,35	68,35	66	60,65	55,9	55,75	63,6	65	69,4	71,25
Groupe d'humidité	**4**	**4**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**4**

Groupe d'humidité	Humidité relative
1	H **< 30 %**
2	H **: 30-50%**
3	H **: 50-70%**
4	H **> 70%**

Précipitations et vents

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
Precipitati (mm)	105,3	62,31	48,48	72,49	51,98	17,78	2,57	14,59	52,72	37,05	85,32	137,7
											Total	**688.3**
Vitesse du vent (m/s)	1.84	1.81	1.65	1.98	1.79	1.92	1.95	1.84	1.59	1.46	1.87	2

Limites de confort

Groupe d'humidité	AMT > 20℃		AMT : 15-20 ℃		AMT > 15 ℃	
	jour	*nuit*	*jour*	*nuit*	*jour*	*nuit*
1	26-34	17-25	23-32	14-23	21-30	12-21
2	25-31	17-24	22-30	14-22	20-27	12-20
3	23-29	17-23	21-28	14-21	19-26	12-19
4	22-27	17-21	20-25	14-20	18-24	12-18

Tableau 2

Diagnostic de température en ℃

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
T.mensuelle max	15,9	16,84	19,67	21,82	27,14	32,74	35,83	36,31	31,02	27,28	20,28	16,83
Confort jour sup	27	27	29	29	29	29	29	29	29	29	29	27
Confort jour inf	22	22	23	23	23	23	23	23	23	23	23	22
T.mensuelle min	5,06	4,63	6,18	7,83	11,95	16,27	18,45	20,02	17,35	13,77	9,35	6,53
Confort nuit sup	21	21	23	23	23	23	23	23	23	23	23	21
Confort nuit inf	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
C thermique jour	**C**	**C**	**C**	**C**	**O**	**H**	**H**	**H**	**H**	**O**	**C**	**C**
C thermique nuit	**C**	**C**	**C**	**C**	**C**	**C**	**O**	**O**	**O**	**C**	**C**	**C**

Avec : O : confort, **C** : froid, **H** : chaud

Indicateurs

Humidité: H1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
H2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
H3	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	**12**
Aridité : A1	0	0	√	√	√	√	√	√	√	√	√	0	**9**
A2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
A3	√	√	√	√	0	0	0	0	0	0	√	√	**6**

Applicable quand	Indicateurs	Confort thermique		Précipitations	Groupe d'humidité	(Δ) mensuelle
		jour	*nuit*			
mouvement d'air essentiel	**H1**	H			4	
		H			2, 3	**< 10°**
mouvement d'air désirable	**H2**	O			4	
Protection contre la pluie	**H3**			+ 200 mm		
Capacité therm. nécessaire	**A1**				1, 2, 3	**> 10°**
Dormir dehors désirable	**A2**		H		1, 2	
		H	O		1, 2	**> 10°**
Protection du froid	**A3**	C				

Tableau 3

Recommandations spécifiques

Indicateurs totaux induits du tableau 2					
H1	**H2**	**H3**	**A1**	**A2**	**A3**
0	**0**	**12**	**9**	**0**	**6**

Plan de masse

			0-10			√	**1**	Orientation Nord et Sud (le long de l'axe est – ouest)
			11-12		5-12			
					0-4		**2**	Plan de masse compact avec cour intérieure

Espacement entre bâtiments

11, 12							**3**	grand espacement permettant la pénétration de brises
2-10							**4**	comme précédent, mais avec protection contre vent chaud et froid
0, 1						√	**5**	Plan de masse compact

Mouvement d'air

3- 12							**6**	Chambres individuelles, provision permanente de l'air
1, 2			0-5					
			6-12				**7**	Chambres doubles, provision temporaire de l'air
0	2-12							
	0, 1					√	**8**	mouvement d'air non recommandé

Fenêtres

			0 -1		0		**9**	Large : 40-80%
			11-12		0 - 1		**10**	Très petite : 10 -20%
Aucune condition						√	**11**	Moyenne : 20-40%

Murs

			0-2				**12**	Murs légers, temps de déphasage cour
			3 -12			√	**13**	Murs extérieurs et intérieurs épais

Toitures

			0 - 5				**14**	Toitures légères
			6 - 12			√	**15**	Toitures épaisses, temps de déphasage plus de 8h

Espace extérieur

				2-12			**16**	Espace pour dormir la nuit en plein air

Protection de la pluie

		3-12				√	**17**	Protection nécessaire contre la pluie

Tableau 4

Recommandations détaillées

Indicateurs totaux induits du tableau 2					
H1	**H2**	**H3**	**A1**	**A2**	**A3**
0	**0**	**12**	**9**	**0**	**6**

Dimension de fenêtre

			0- 1		0		**1**	Large : 40-80%
					1-12	√	**2**	Moyenne : 25-40%
			2-5					
			6-10				**3**	Petite : 15-25%
			11-12		0-3		**4**	Très petite :10-20%
					4-12		**5**	Moyenne : 20-40%

Emplacement des fenêtres

3- 12							**6**	Au nord et au sud du mur face au vent
1, 2			0-5					
			6-12			√	**7**	Ouvertures hautes dans les murs intérieurs
0	2-12							

Protection des fenêtres

					0-2		**8**	Exclure le rayonnement solaire direct
		2 -12				√	**9**	Prévoir une protection contre la pluie

Murs et planchers

			0-2				**10**	Légers, faible capacité thermique
			3-12			√	**11**	Epais, plus de 8h temps de déphasage

Toitures

10-12			0-2				**12**	Légères, surface réflective, cavité
			3-12				**13**	Légères, avec isolation
0, 9			0-5					
	2-12		6-12				**14**	Massives, plus de 8h temps de déphasage

Eléments extérieurs

				1-12			**15**	Espace pour dormir la nuit en plein air
		1-12				√	**16**	Drainage adéquat des eaux de pluies

Annexe -II-

II-1-Définition des concepts : (Source : ANAH Agence Nationale pour l'Amélioration de l'Habitat, 1995)

Convection: diffusion de chaleur par des mouvements d'air vers le haut

Constante de temps: d'un bâtiment est la durée au bout de laquelle la différence entre un état initial en équilibre thermique et un état final à un nouveau équilibre est réduite des deux tiers à la suite d'une perturbation. Exemple: soit un logement à 30°C qu'on souhaite rafraîchir à 26°C par une forte aération naturelle. S'il faut 12h pour obtenir le résultat, la constante de temps sera de 8h

Degrés jours unifiés DJU: grandeur utilisée pour mesurer la rigueur du climat pour une période donnée.

Equilibre hygroscopique: les matériaux de construction (brique, pierre, calcaires..), en présence d'air humide, retiennent par échange gazeux une certaine quantité d'humidité. Cet état d'équilibre appelé équilibre hygroscopique, est normal et naturel. Il peut être perturbé et déséquilibré si, lorsque l'air ambiant s'assèche, le mur ne peut restituer convenablement son excès d'humidité pour parvenir à un nouvel équilibre (enduits asphyxiants par exemple).

Facteur solaire: la transparence à l'énergie solaire d'une ouverture dépend du type et nombre de vitrage mis en œuvre, ainsi que de la proportion de clair dans la surface totale. Le facteur solaire représente le rapport entre l'énergie solaire traversant l'ouverture, et l'énergie incidente.

Perméabilité moyenne des ouvrants: coefficient qui exprime le débit d'air en m3/h qui passe à travers un ouvrant lorsque la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur est 1 Pa. Ce coefficient donne donc une idée précise de l'étanchéité à l'air de l'ouvrant.

Pont thermique: zone qui crée un point froid sur la face interne d'un mur. Outre l'abaissement de l'isolation de la constriction, il peut induire des phénomènes de condensation dans la maçonnerie ou à l'intérieur des pièces.

Rayonnement froid: phénomène sensitif pouvant se produire même si la température de l'air est suffisante et qui se manifeste par une sensation désagréable à proximité de parois froides, comme une vitre ou un mur froid.

Rayonnement chaud: phénomène sensitif mis en évidence par le fait que l'on peut avoir très chaud sur une piste de ski grâce au "rayonnement" solaire, alors que la température de l'air est très basse, ou encore que l'on a chaud au visage et froid dans le dos, quant on se tient devant un feu de cheminée.

Tirage naturel (tirage thermique+vent): effet de cheminée qui se manifeste par un mouvement d'air résultant des conditions météorologiques (vent, température extérieure) et de la température intérieure.

II-2- <u>Correspondance des unités</u> :

II-2-1- Température : (Source: D.T.R, 1998)

Degrés Celcius (°C) anciennement centigrade. Les points de référence sont :

- 0°C température de la glace fondante ;
- 100°C température de l'eau bouillante à la pression atmosphérique normale.

Kelvin (K) unité du système international SI. La graduation est celle de l'échelle Celcius mais la température de la glace fondante correspond à 273.15 K. On obtient donc une température en K à partir d'une température en °C en ajoutant 273.15.

Degrés Fahrenheit (°F) unité utilisée dans les pays de langue anglaise. Les points de référence sont :

- 32°F temp2rature de la glace fondante
- 212 °F température de l'eau bouillante à la pression atmosphérique normale.

1°F = 0.55 °C 0°F = (θ°C / 0.55) + 32

II-2-2-Quantité de chaleur : (Source: D.T.R, 1998)

- 1 calorie (cal) = 4.185 J.
- 1 kcal est la quantité de chaleur pour augmenter de 1°C la température de 1kg d'eau.
- 1 kcal = 4185 J.
- 1kJ = 0.239 kcal
- 1 kcal = 4.186 kJ
- 1 thermie = 1000 kcal.
- 1 Wh = 3600 J.
- 1 B.T.U. (British thermal Unit) = 1044 J

II-2- 3-Conductivité thermique: (Source: Givoni, 1976)

- 1 W/m°C = 0.861 kcal / m.h.°C
- 1 kcal / m.h.°C = 1.163 W/m°C
- 1 W/m°C = 6.94 B.T.U. / ft².h.°F

II-2- 3- Puissance: (Source: D.T.R, 1998)

- 1kcal / h = 1.162 W.
- 1 BTU / h = 0.29W

II-2-4- Pression: (Source: D.T.R, 1998)

- 1 bar = 10^5 Pa.
- 1 mbar = 100 Pa.
- 1mm CE (colonne d'eau) = 9.8 Pa.
- 1 mm Hg (mercure) ou le torr = 133.323 Pa.

II-3-Facteur solaire

Tableau -II-1-: Facteur solaire des vitrages spéciaux en simple épaisseur.

Type de vitrage	Epaisseur (mm)	Fs
Verre à vitre : normal	2 à3	1
Fort	4	0.98
épais	5	0.96
Glace claire ordinaire	6	0.95
	8.6	0.92
	10.5	0.90
	12	0.88
Verre absorbant	5.5	0.71
Glace absorbante		
couleur bronze	6	0.64
	8	0.60
	10	0.54
couleur grise	6	0.65
	8	0.60
	10	0.55
couleur verte	6	0.63
	8	0.59
	10	0.53
Verre coloré		
rouge foncé	3 à 6	0.56
bleu foncé	3 à 6	0.60
gris foncé	3 à 6	0.32
gris-vert	3 à 6	0.46
opale vert	3 à 6	0.43
opale foncé	3 à 6	0.37
ambre	3 à 6	0.70
Glaces réfléchissantes		
claires	6	0.72
	8	0.71
	10	0.70
bronze	6	0.55
	8	0.49
	10	0.45
gris	6	0.55
	8	0.50
	10	0.46
vert	6	0.53
	8	0.49
	10	0.45
Film réflecteur		
sur glace claire		
film A 18		0.25
film A 33		0.42
sur glace absorbante		
bronze		
film A 18		0.33
film A 33		0.41
grise		
film A 18		0.12
film A 33		0.21

(Source: DTR. C3-4 Climatisation, 1998)

Tableau -II-2 : Facteur solaire des vitrages doubles

Type de vitrage	Epaisseur nominale (mm)	Epaisseur (mm)			Fs
		Glace int	Glace ext	Lame d'air	
Verre clair	11	3	3	5	0.90
Glace claire	18	6	6	6	0.85
	20	6	6	8	0.85
	24	6	6	12	0.85
	24	6	8	10	0.82
	32	8	10	14	0.80
Glace intérieure claire et glace absorbante extérieure:					
grise	18	6	6	6	0.59
	24	8	8	8	0.52
	32	8	10	14	0.48
vert	18	6	6	6	0.56
	24	8	8	8	0.51
	32	8	10	14	0.44
bronze	18	6	6	6	0.58
	24	8	8	8	0.52
	32	8	10	14	0.47
Glace intérieure claire et glace réfléchissante extérieure:					
claire	18	6	6	6	0.64
	24	8	8	8	0.60
	32	8	10	14	0.60
bronze	18	6	6	6	0.44
	24	8	8	8	0.37
	32	8	10	14	0.34
gris	18	6	6	6	0.45
	24	8	8	8	0.38
	32	8	10	14	0.35
vert	18	6	6	6	0.43
	24	8	8	8	0.37
	32	8	10	14	0.35
Glace claire extérieure claire et glace réfléchissante intérieure:	18	6	6	6	0.30
Glace absorbante extérieure et glace réfléchissante intérieure:	18	6	6	6	0.22
Glace réfléchissante extérieure et intérieure	18	6	6	6	0.13

(Source: DTR. C3-4 Climatisation, 1998)

II-4- <u>Facteur d'absorption des rayons solaires à travers une paroi opaque</u> :

Représenté par la lettre α, égale au rapport de l'énergie solaire absorbée par la paroi à l'énergie incidente. Si la paroi ne comporte pas de pare soleil, α est le facteur d'absorption de la surface extérieure de la paroi :

$$q = \frac{K\alpha R}{he} \qquad \text{……..1}$$

Avec K : coefficient de transmission de la paroi

he : coefficient d'échanges thermique extérieur

R : énergie du rayons solaire.

Le tableau ci-dessous, donne les valeurs de α :

Tableau -II-3- : L'ordre de grandeur de α suivant la teinte de la paroi :

Teinte	Valeur de α
Blanc	0.2 à 0.3
Jaune, orange, rouge claire	0.3 à 0.5
Rouge sombre, vert clair, bleu clair	0.5 à 0.7
Brun, vert sombre, bleu vif, bleu sombre	0.7 à 0.9
Brun sombre, noir	0.9 à 1

(Source : M. Croiset, 1978)

II-5- <u>Les biomatériaux</u> : (Source: LE MONITEUR ARCHITECTURE a m c, 2004)

Vermaspha: Roche naturelle expansée très légère enrobée de bitume et destinée à la mise de à niveau et à l'isolation phonique et thermique des anciens planchers. Isolation thermique: 0.076W/mK.

Mehabit S: Constituée de granulats tirés de la partie ligneuse de la tige de chanvre, enrobée d'un bitume naturel. A épandre directement sur vieux planchers. Conductivité thermique: 0.060 W/Mk

O**uate de cellulose**: Résulte du recyclage du papier de journal, tiré, moulu et protégé par addition d'hydrate d'alumine et d'acide borique (aditif biodégradable). Grâce à sa structure floconneuse, ce matériau offre de bonne qualité d'isolation thermique avec une perméabilité à l'air. Conductivité thermique: 0.040 W/Mk.

Pavalit: Roche de perlite expansée thermiquement à disposée en vrac. Les grains sont enrobées de paraffine pour se coller entre eux .Préconisé pour l'égalisation des planchers massifs ou à solives en bois, améliore l'isolation thermique du fait de la structure poreuse. Conductivité thermique: 0.060 W/Mk.

Thermofloc: Composé de fibres de cellulose issues du papier journal additionnées de sels boriques. Diffusé par soufflage, thermofloc crée une couche isolante thermique et sonore sans joint, destiné aux murs et plafonds. Conductivité thermique: 0.037 W/Mk.

Vermex: Roche naturelle exfoliée, légère, stable et inerte. L'air immobilisé dans ses grains offre à vemex de bonnes caractéristiques d'isolation thermique Conductivité thermique: 0.070 W/Mk. Domaines d'application : comble, plancher, entrevous, parois creuses et béton léger.

Lecamix: Mortier léger isolant, ses granules d'argile expansée possèdent une structure inerte sous une écorce résistante et poreuse. Conductibilité thermique: 0.22 à 0.25 W/Mk.

PLS: Matériau de construction breveté constitué de particules de bois minéralisé liées au ciment. Produit écologique issu du recyclage, PLS résiste à l'eau, au gel et dégel et possède des qualités d'isolation thermique. Conductivité thermique: 0.09 W/Mk.

Stisolith: Panneau à base de fibragglo (fibres de bois liées au ciment) aux qualités isolantes. Résistance d'isolation thermique en ép.75: 0.83 m2 K/W.

Trovalith: Destiné à l'isolation thermique, constitué de longues fibres de bois minéralisées agglomérées au ciment et comprimées.

Liège expansé noir: Ses granulats sont agglomérés à la vapeur surchauffée. Compact, imputrescible, cet isolant thermique est utilisé en toiture, plafonds, parois verticales et sols sous forme de panneaux ou en vrac. Transmission calorifique en ép 100mm : 0.384 W/ m2°C.

Natilin Ouat: Produit recyclable et écologique, le lin possède un fort pouvoir d'isolation thermique, phonique et absorbe l'humidité. Les fibres de lin sont traitées au sel minéral. Conductibilité thermique: 0.037 W/MK.

Thermoflex: Le panneau universel flexible Thermoflex est préconisé pour lutter contre l'humidité, pour l'isolation thermique et acoustique des murs, sols et plafonds. Conductivité thermique: 0.040 W/Mk.

Multiplex Top: Panneau hydrofuge constitué de fibres de bois avec assemblage par bouvetage. Recyclable léger, le panneau offre une bonne isolation phonique et thermique et régule l'humidité Conductivité thermique: 0.05 W/Mk**.** Domaines d'application: toiture, murs et plafonds.

Pavatherme: Fabriqué à partir de déchets de scierie amalgamés à la lignine du bois. Isolant et extrêmement résistant au vieillissement et totalement recyclable. Application diverses: toits inclinés, plats et parois, Diffutherme pour la façade et Pavatherme pour le sol. Conductibilité thermique: 0.040W/Mk.

Isolaine: Fabriqué à partir de l'enchevêtrement de fibres de chanvre. La laine de chanvre est perméable, résistante et durable. Conductibilité thermique: 0.04 W/Mk.

Batiplum: Premier prix du palmarès de l'innovation 2002, cette nappe isolante est réalisée à partir de plumes de canard lavées et dépoussiérées (70%), de fibres textiles (20%) et de l'aine (10%). Recyclable, Batiplume est un matériau isolant, résilient et régulateur d'humidité. Isolation thermique: 0.33 W/Mk

Fibres de bois: Sous forme de plaque, ce panneau d'isolation est préconisé pour les combles ou les murs.

Corkoco: Cette fibre offre de nombreuses qualités de résistance à l'eau, aux chocs et une bonne stabilité dimensionnelle. Nettoyée, traitée thermiquement, liée, la fibre Corkoco est proposée sous forme de plaques isolante, légères et respirantes pour les parois verticales, plafonds et sols. Conductibilité thermique: 0.043 W/Mk.

Isodec: Constitué de caoutchouc recyclé lié par du polymère, le revêtement Isodec est utilisé en protection des systèmes d'étanchéité, amortisseur de vibration et isolant thermique.

II-6- Documents techniques réglementaires de conceptions algériens:

D.T.R -3-4 : Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments Arrêté du 18/08/1997

I**solation thermique : C T N 39**

Référence : NA 2613

Intitulé : **Isolation thermique – Conditions de transfert thermique et propriétés des matériaux –Vocabulaire. EQV ISO 9251.**

Statut : E

Documents techniques étrangers. Provisoirement autorisés (circulaire du 15/08/1989) DTU et normes :

Documents techniques réglementaires ou normes de calcul (suite)

Classe : C3.2

Intitulé : **Confort thermique**

Références : DTU-P 50 .702 à 705. Règles TH-K77. TH –G77

Classe : C3.3

Intitulé : **Ventilation**

Classe : C3.31.

Intitulé : **Ventilation naturelle**

Références : DTU-P 50 .702 à 705.

Classe : C3.31.

Intitulé : **Ventilation mécanique**

Références : Règles TH-K77. TH –G77

Classe : C3.4

Intitulé : **Climatisation**

Annexe -III-

Tableau -III-1- Répartition possible de différentes plantes autour de l'habitat :

A Arbres, captage solaire, protection solaire	
Nom commun	**Nom commun**
Acacia de Constantinople	Albissia Julibrissin
Bouleau	Butela
Catalpa commun	Catalpa Binoniodes
Charme Houblon	Ostrya Carpinifolia
Erable de Montpellier	Acer Monspesssulanum
Erable nain vert	Acer Megundo
Erable Sycomore	Acer Pseudoplatanus
Figuier commun	Ficus Carica
Flamboyant	Caesalpinia Gilliesh
Frene blanc d'Amérique	Fraxinus Americana
Frene commun	Fraxinus Excelsior
Hêtre	Fagus
Judée (arbre de)	Cercis Ciliquastrum
Marronnier d'Inde	Aesculus Hippocastanum
Mûrier blanc	Morus Alba
Mûrier de Chine	Broussonetia Papyrifera
Mûrier Platane	Morus Kagayamah
Oranger des osages	Maclura Aurantiaca
Ormes Champêtre	Ulmus Carpinifolia
Pallownia	Pallownia Fortunei
Peuplier d'Italie	Populus Nigra Italica
Platane	Platanus
Robinier Faux Acacia	Robinia Pseudoacacia
Sophora du Japon	Sophora Japonica
Tilleul Argenté	Tilia Argentina

B Treilles et pergolas, captage solaire, protection solaire	
Nom commun	**Nom scientifique**
Aristoloche Siphon	Aristolochia Sipho
Bignone à grandes fleures	Campsis Grandiflora
Capucine (la grande)	Tropeleum Majus
Glycine de Chine	Wistaria Sinesis
Jasmin de Virginie	Campsis Radicans
Vigne	Vitis
Vigne vierge	Ampelopsis Veitchii
Vigne vierge à 5 fleurs	Parthenocissus Quinquefolia
Volubilis	Ipomea

C Arbres, grands brise - vents hiver	
Nom commun	**Nom scientifique**
Cèdre de l'Atlas	Cerdus Atlantica
Cèdre du Liban	Cerdus Libani
Chêne vert	Quercus Ilex
Cyprès de Lambert	Cupressus Macrocarpa
Cyprès de Provence	Cupressus Sempervirens
Filao	Casuarina Equisetifolia

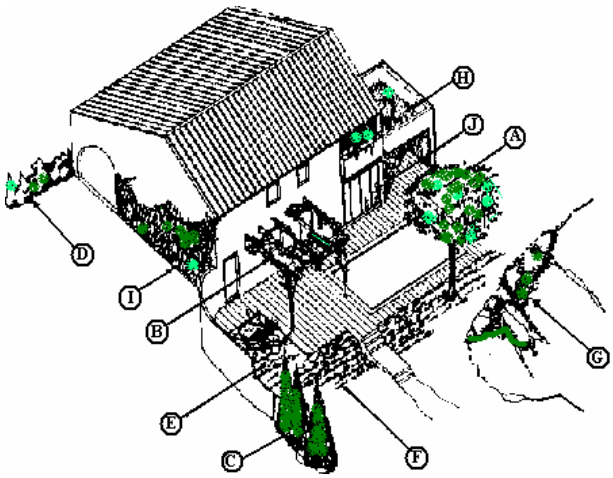
D Arbustes, petits brise - vents	
Nom commun	**Nom scientifique**
Argousier	Hydpophae Rhamnoides
Bambous	Arundinaria
Bruyère Arborescente	Eruca Arborea
Buis commun	Buxus Sempervirens
Buisson Ardent	Pyracantha Coccinea
Chêne Kermès	Quercus Coccifera
Fusain du Japon	Evonimus Japonicus

E Patio et humidification de l'air en été	
Nom commun	**Nom scientifique**
Abutilon	Abutilon
Acacia de Constantinople	Albissia Julibrissin
Bouleau	Butela
Catalpa commun	Catalpa Binoniodes
Erable nain vert	Acer Megundo
Figuier commun	Ficus Carica
Jacinthe d'eau	Eichornia Crassipes
Lierre commun des bois	Hedera Helix
Marronnier d'Inde	Aesculus Hippocastanum
Peuplier d'Italie	Populus Nigra Italica
Saule blanc pleureur	Salix Alba Tristis
Tilleul Argenté	Tilia Argentina
Vigne vierge	Ampelopsis Veitchii
Vigne vierge à 5 fleurs	Parthenocissus Quinquefolia
Volubilis	Ipomea

F Tapissants, Fixation des pentes	
Nom commun	**Nom scientifique**
Acanthe à feuilles molles	Acanthe à feuilles molles
Agave du Mexique	Agave du Mexique
Ajonc	Ajonc
Aloes	Aloes
Belle de nuit	Belle de nuit
Cinéraire Maritime	Cinéraire Maritime
Coloquinthes	Coloquinthes
Fougères capillaires	Fougères capillaires
Géranium	Géranium
Lavande officinale	Lavande officinale
Lupin des jardins	Lupin des jardins
Pourpier de mer	Pourpier de mer
Romarin	Romarin
Rose trémière	Rose trémière
Santoline maritime	Santoline maritime
Sauge	Sauge
Saxifrage à grandes feuilles	Saxifrage à grandes feuilles
Thym	Thym

G Grimpantes, Fixation des pentes	
Nom commun	**Nom scientifique**
Asparagus de Spenger	
Bruyère Arborescente	Asparagus Spengeri
Capucine (la grande)	Eruca Arborea
Cheuvrefeuille entrelacé	Tropei Fum Majus
Cobée grimpant	Lonicera Implexa
Coloquinthes	Cobaea
Figuier grimpant	Cucurbita Pepo
Fusain grimpant	Ficus Repens
Jasmin d'hiver	Evonimus Fortunei
Lierre commun des bois	Jasminum Primulinum
Lierre des Canaries	Hedera Helix
Passiflore	Hedera Canariensis
Vigne	Passiflora Coerulea
	Vitis

Fusain grimpant	Evonimus Fortunei
Genet d'Espagne	Spartium Junceum
Genet épineux	Calicotome Spinosa
Houx commun	Ilex Aquifolium
Laurier amande	Prunus Laurocerasus
Laurier rose	Nerium Oleander
Laurier sauce	Laurus Nobilis
Laurier tin	Viburnum Tinus
Pittospore de Chine	Pittosporum Tobira
Thuya	Thuya
Troëne de Californie	Ligustrum Ovalifolium
Yucca	Yucca Gloriosa



H Toits, terrasses, protection thermique hiver et été	
Nom commun	**Nom scientifique**
Cobée grimpant	Cobaea
Lierre commun des bois	Hedera Helix
Lierre des Canaries	Hedera Canariensis

I Grimpantes, isolation thermique hiver et été	
Nom commun	**Nom scientifique**
Cobée grimpant	Cobaea
Figuier grimpant	Ficus Repens
Fusain grimpant	Evonimus Fortunei
Jasmin d'hiver	Jasminum Primulinum
Lierre commun des bois	Hedera Helix
Lierre des Canaries	Hedera Canariensis

J Vérandas et serre, captage solaire et protection	
Nom commun	**Nom scientifique**
Aristoloche Siphon	Aristolochia Sipho
Capucine (la grande)	Tropeleum Majus
Cognassier du Japon	Chaenomeles Japonica
Flamboyant	Caesalpinia Gilliesh
Grenadier	Punicagranatum
Pommier	Malus
Vigne	Vitis
Vigne vierge	Ampelopsis Veitchii
Vigne vierge à 5 fleurs	Parthenocissus Quinquefolia
Volubilis	Ipomea

(Source: A.F.M.E Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie, 1988 et réadapté par auteur)

Annexe -IV-

Tableau-IV-1- Calcul du coefficient de transmission thermique K (mur 56cm)

Désignation	**e** (m)	**λ** (W/m℃)	**r** (m² °C / W)
Enduit en plâtre	0,015	0,35	0,043
Mortier de chaux	0,02	0,87	0,023
pierre travertin	0,23	0,85	0,271
vide d'air	0,03	0,25	0,12
Pierre travertin	0,23	0,85	0,271
Mortier de chaux	0,02	0,87	0,023
Enduit de ciment	0,015	1,4	0,011
r t (la somme des résistances)			0,761
R=1/hi+1/he+r t (résistance totale)			0,931
K=1/R (coefficient de transmission W/m² °C)			1,074

Tableau-IV-2- Calcul du coefficient de transmission thermique K (l'allège 40 cm)

Désignation	**e** (m)	**λ** (W/m℃)	**r** (m² °C / W)
Enduit en plâtre	0,015	0,35	0,04
pierre travertin	0,27	1,9	0,14
Enduit de ciment	0,015	1,4	0,01
Enduit en plâtre	0,015	0,35	0,04
r t (la somme des résistances)			0,2
R=1/hi+1/he+r t (résistance totale)			0,37
K=1/R (coefficient de transmission W/m² °C)			2,73

IV-1-La température surfacique interne de la paroi :

tsi =ti – k /hi × (ti - te)……..….1 (Source : M.Croiset,1978)

IV-2- Le flux de chaleur à travers la paroi :

Q = qp +qv …….2

qp = 1.2 × Kété × Sint × Δte(t)…….3 (Source : D.T.R. C3-4,1998)

avec :

- **qp**: (en W) est le flux de chaleur (apport) à travers la paroi opaque ;
- **1.2**: est un coefficient majorateur tenant compte des apports latéraux linéiques (à travers les ponts thermiques) ;
- **Kété**: (en W/m² °C) est le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée pour l'été ;
- **S int**: (en m²) est la surface totale intérieure de la paroi considérée, pour les toitures en pentes, on prendra la projection horizontale de la surface ;
- **Δ te(t):** (en °C) est la différence équivalente de température à l'heur t.

Pour le calcul de qv on calcul d'abord K de la fenêtre:

1/K = 1/Kvn + rv + r rid + r occ (m² °C/W)……4 (Source : D.T.R. C3-2,1998)

avec :

- **Kvn**: représente le coefficient K du vitrage nu (pour notre cas, vitrage simple avec la menuiserie en bois : Kvn = 5);
- **rv**: (en m²°C/W) représente la résistance supplémentaire des voilages éventuels; on adopte rv = 0.025 m².°C /W ;
- **r rid**: (en m²°C/W) représente la résistance supplémentaire des rideaux éventuels; on adopte rv = 0.030 m².°C /W ;
- **r occ**: (en m²°C/W) représente la résistance supplémentaire des occultations, donée par la formule :

r rocc = 0.16+ e occ / λ occ ……..5

(e occ: l'épaisseur de l'occultation, λ occ : la conductivité thermique du matériau de l'occultation)

K fenêtre = 1,626 (W/m² °C)

qv = K fenêtre × S fenêtre × Δte(t) ……..6

IV-3- La température surfacique externe de la paroi:

Q = 1/R × (tsi – tse)……7 (Source : Fourrier)

Donc :

$$Tse = \frac{K \times tsi + Q}{K}$$ ……8

Tableau-IV-3- Températures surfaciques internes et externes de la paroi, calculées en période d'été:

Horaires	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
T int (℃)	18,88	18,23	17,4	18,05	17,45	16,95	17,45	17,9	18,6	18,63	18,43	19,08
T rue (℃)	4,425	4,55	4,45	4,125	3,875	6,225	5,525	10,48	7,6	6,85	5,95	5,3
Ts int (℃)	17,17	16,61	15,87	16,4	15,85	15,68	16,04	17,02	17,3	17,23	16,95	17,45
qp +qv	2,817	3,287	5,634	4,226	9,391	61,04	105,64	110,3	86,9	73,72	26,29	11,74
Ts ext (℃)	27,35	26,57	23,67	25,07	26,4	33,2	68,04	72,05	55	50,2	41,2	37,7

Tableau-IV-4- Températures surfaciques internes et externes de la paroi, calculées en période d'hiver:

Horaires	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
T int (℃)	18,88	18,23	17,4	18,05	17,45	16,95	17,45	17,9	18,6	18,63	18,43	19,08
T rue (℃)	4,425	4,55	4,45	4,125	3,875	6,225	5,525	10,48	7,6	6,85	5,95	5,3
Ts int (℃)	17,17	16,61	15,87	16,4	15,85	15,68	16,04	17,02	17,3	17,23	16,95	17,45
qp +qv	12,4	256,8	243,2	261,5	4481	-201	-224	-139	-207	-221	-234,3	-259
Ts ext (℃)	5,63	5,07	5,51	4,86	4,31	4,14	4,50	5,48	5,76	5,69	5,41	5,90

Tableau-IV-5- Température intérieure moyenne mesurée, période été.

Heures	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Tint R.D.C (℃)	29,95	29,7	29	29,03	29,05	29,55	29,6	30	30,08	30,5	30,35	30,2
Tint étage (℃)	29,5	29,1	28,6	28,75	29,55	29,93	30,1	30,3	30,23	30,3	30,7	29,63
T rue (℃)	30,1	29,5	28,7	28,8	29,55	32,8	35,3	35,8	34,7	34,4	31,75	30,83
T météo (℃)	26,7	24,8	23,2	22,35	25,93	33,63	38,8	40,6	38,68	35,3	30,98	28,85

Tableau-IV-6- Humidité intérieure moyenne mesurée, période été.

Heures	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
HR int R.D.C (%)	46,25	47,5	47,5	47	48	45	46	47,3	48,5	47,3	44,75	48,5
HR int étage (%)	47,48	48,5	48	49	47,4	43,85	43,1	44,1	45,7	46	46,1	49,53
HR rue (%)	45,75	47,8	46,8	46,75	46,25	45,75	33,5	38,5	38	39	42,75	47,25
HR météo (%)	57,25	63	67,3	69,75	60,5	37	27,5	24,5	28	36,3	46	56

Tableau-IV-7- Température intérieure moyenne mesurée, période hiver.

Heures	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Tint R.D.C (℃)	18,88	18,2	17,4	18,05	17,45	16,95	17,5	17,9	18,6	18,6	18,43	19,08
Tint étage (℃)	17,6	17,6	17,5	17,43	17,43	15,53	16	16,7	17	16,8	16,9	17,73
T rue (℃)	4,425	4,55	4,45	4,125	3,875	6,225	5,53	10,5	7,6	6,85	5,95	5,3
T météo (℃)	3,075	3,48	3,93	3,3	2,975	3,95	5,5	6,83	6,725	5,75	4,975	4,75

Tableau-IV-8- Humidité intérieure moyenne mesurée, période hiver.

Heures	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
HR int R.D.C (%)	50,5	50,8	50,5	52,25	52	49	50	49	49,25	49,8	55,25	52,75
HR int étage (%)	43,55	42,8	42,3	42,5	41,48	46,1	44,4	45	43,73	43,3	45,9	45,85
HR rue (%)	56,5	58,3	57,3	62,75	67	60,45	63	52	55,9	63,3	65,5	63,5
HR météo (%)	83	83,5	82,5	87,75	89,25	85,5	78,8	75	72,25	76,5	81,25	83,25

Annexe -V-

V-1-Programme et résultats de la simulation

```
*   BUILDING DESCRIPTIONS FILE TRNSYS
*   FOR BUILDING:   C:\TRNWIN\BID\CHAMBRE.BUI
*   GET BY WORKING WITH Pre-BID 2.0 for DOS

* PROPERTIES

PROPERTIES
 DENSITY=1.204
 CAPACITY=1.012
 HVAPOR=2454
 SIGMA=2.041E-07
 RTEMP=293.15

*TYPES

* LAYERS

LAYER PLATRE
 THICKNESS=0.015 : CONDUCTIVITY=1.03
 CAPACITY=0.94 : DENSITY=800
LAYER ENDCIMENT
 THICKNESS=0.015 : CONDUCTIVITY=4.14
 CAPACITY=1.08 : DENSITY=1900
LAYER PIERRE
 THICKNESS=0.23 : CONDUCTIVITY=1.58
 CAPACITY=1.0 : DENSITY=900
LAYER MORTCHAUX
 THICKNESS=0.02 : CONDUCTIVITY=2.52
 CAPACITY=1.0 : DENSITY=1400
LAYER VIDE
 THICKNESS=0.03 : CONDUCTIVITY=0.086
 CAPACITY=1.0 : DENSITY=10
LAYER Brique1
 THICKNESS=0.07 : CONDUCTIVITY=1.73
 CAPACITY=0.94 : DENSITY= 900
LAYER Brique2
 THICKNESS=0.15 : CONDUCTIVITY=1.73
 CAPACITY=0.94 : DENSITY= 900
LAYER Briquecreuse
 THICKNESS=0.12 : CONDUCTIVITY=1.73
 CAPACITY=0.94 : DENSITY= 900
LAYER BOIS
 THICKNESS=0.02 : CONDUCTIVITY=0.54
 CAPACITY=2.16 : DENSITY=500

* INPUTS

* SCHEDULES
SCHEDULE PERSIENNE
 HOURS =0      8    18
 VALUES=0.4    1    0.4
SCHEDULE OCCUP
 HOURS =   0      8     18
 VALUES=   0.85   0    0.85
SCHEDULE KVITRE
 HOURS = 0     8    18
 VALUES= 14   120   14

* WALLS

WALL MURSudO
 LAYERS=PLATRE  MORTCHAUX PIERRE VIDE PIERRE  MORTCHAUX ENDCIMENT
 ABS-FRONT=.6 : ABS-BACK=.6
 HFRONT=16.5 : HBACK=60
WALL MUR1
 LAYERS=PLATRE Brique1 PLATRE
```

```
 ABS-FRONT=.6 : ABS-BACK=.6
 HFRONT=16.5 : HBACK=33
WALL MURCAGE
 LAYERS=PLATRE  MORTCHAUX PIERRE VIDE PIERRE  MORTCHAUX PLATRE
 ABS-FRONT=.6 : ABS-BACK=.6
 HFRONT=16.5 : HBACK=60
WALL MUR2
 LAYERS=PLATRE Brique2 PLATRE
 ABS-FRONT=.6 : ABS-BACK=.6
 HFRONT=16.5 : HBACK=16.5
WALL PLAFOND
 LAYERS=Briquecreue
 ABS-FRONT=.6 : ABS-BACK=.6
 HFRONT=11 : HBACK=11
WALL PLANCHER
 LAYERS=Briquecreuse
 ABS-FRONT=.6 : ABS-BACK=.6
 HFRONT=11 : HBACK=11
WALL PORTE
 LAYERS=BOIS
 ABS-FRONT=.6 : ABS-BACK=.6
 HFRONT=16.5 : HBACK=16.5

* WINDOWS

WINDOW FENETRESudO
 UGLASS=SCHEDULE1*KVITRE+0 : HINSIDE=16.5 : HOUTSIDE=60
 ABSORBTANCE=0.09 : REFLECTANCE=0.14 : NGLASS=1
 KLPRODUCT=0.08 : RFRACTION=1.52

* GAINS

GAIN OCCUPANT
 CONVECTIVE=70.2
 RADIATIVE=163.8
 HUMIDITY = 0.08
GAIN INTERNE
 CONVECTIVE=279
 RADIATIVE=652
 HUMIDITY = 0

* INFILTRATION
INFILTRATION LOOS
 AIRCHANGE=1.15
* VENTILATION
* HEATING
* COOLING
* BUILDING
ZONES CHAMBRE
ORIENTATIONS SudO
BUILDING

* ZONES
ZONE CHAMBRE
WALL=MURSudO : AREA=11.54 : EXTERNAL : ORIENTATION=SudO
WALL=MUR1 : AREA=13.22 : INTERNAL
WALL=MURCAGE : AREA=15.46 : BOUNDARY=15 :COUPLING=0
WALL=MUR2 : AREA=13.54 : INTERNAL
WALL=PLAFOND : AREA=15.30 : INTERNAL
WALL=PLANCHER : AREA=15.30 : INTERNAL
WALL=PORTE : AREA=2.246: : INTERNAL
WINDOW=FENETRESudO : AREA=2 : ORIENTATION=SudO : FRME=SCHEDULE 1*PERSIENNE+0
 REGIME
  GAIN=OCCUPANT : SCALE=SCHEDULE 1*OCCUP+0
  GAIN=INTERNE : SCALE=1
  INFILTRATION=LOOS
  CAPACITANCE=550 :  VOLUME=56.61
  TINITIAL=24 :  WINITIAL=0.011
  WCAPR=1
```

```
* OUTPUTS
OUTPUTS
 TRANSFER : TIMEBASE=1
 ZONES=CHAMBRE
 NTYPES=1  9  17 18
END
```

V-2-Les inputs et les outputs :

```
ASSIGN \TRNWIN\delel\CHAMBRE.LST         6
ASSIGN \TRNWIN\delel\METEO.DAT           13
ASSIGN \TRNWIN\delel\ETE.DAT             17
ASSIGN \TRNWIN\BID\CHAMBRE.BLD           11
ASSIGN \TRNWIN\BID\CHAMBRE.TRN           12
ASSIGN \TRNWIN\delel\CHAMBRE.RES         26
*****************************************************************
*  EVALUATION DES TEMPERATURES INTERNES POUR la chambre   *
*                    p,riode d',t,                    *
*****************************************************************
*****************************************************************
SIM    5472   5568    1
WIDTH  90
*****************************************************************************
UNIT 5    TYPE 54
PAR  7
1 13 11  2  1  1  500
*****************************************************************************
UNIT 9    TYPE 9
PAR 11
2 2 1 -1 1 0 -2 1 0  17 -1
*****************************************************************************
UNIT 6  TYPE 33
PAR 4
2  0.92  0   1
INPUTS 2
9,1    9,2
24     45
*****************************************************************************
*****************************************************************************
UNIT 16  TYPE 16
PAR 9
3 1 1  1  36.28  4871  0  2  -1
INPUTS 6
5,7  5,19  5,20  0,0    0,0  0,0
 0    1     1    0.2     90  60
*****************************************************************************
UNIT 56  TYPE  56
PAR 2
11  12
INPUTS 5
9,1   6,1   16,6  16,7  16,9
24   0.002   0     0     0
*****************************************************************************
UNIT 25 TYPE 25
PAR 4
1    5472  5568  26
INPUTS 8
5,1   5,2  5,3   9,1   56,1  56,2  56,3  56,16
mois jour  heur  Text  Tint   Hr    Tsi   Tse
*****************************************************************************
END
```

V-3-Exemple de résultats de la simulation :

V-3-1-Journée : type période d'été (chambre du R.D.C)

TIME	MOIS	JOUR	HEUR	TEXT	TINT	HR	TSI	TSE
5496	8	17	24	29,50	28,12	0,012978	28,32	28,06
5497	8	18	1	29,40	28,16	0,013150	28,48	27,44
5498	8	18	2	29,00	28,22	0,013450	28,63	26,86
5499	8	18	3	29,00	28,27	0,013619	28,78	25,51
5500	8	18	4	29,00	28,34	0,013672	28,93	24,26
5501	8	18	5	29,10	28,41	0,013606	29,08	24,12
5502	8	18	6	29,30	28,49	0,013474	29,22	25,08
5503	8	18	7	29,20	28,56	0,013480	29,36	25,96
5504	8	18	8	28,60	28,62	0,013470	29,49	26,16
5505	8	18	9	30,00	28,69	0,014469	29,61	31,18
5506	8	18	10	31,30	28,83	0,019194	29,78	32,94
5507	8	18	11	31,60	28,97	0,020562	29,88	55,38
5508	8	18	12	32,90	29,15	0,017623	30,02	67,53
5509	8	18	13	33,20	29,35	0,017917	30,18	70,39
5510	8	18	14	34,10	29,54	0,021265	30,34	71,88
5511	8	18	15	36,10	29,82	0,021553	30,53	61,41
5512	8	18	16	38,20	30,18	0,018254	30,77	51,48
5513	8	18	17	37,10	30,42	0,015976	30,88	50,60
5514	8	18	18	36,80	30,45	0,016165	30,90	50,00
5515	8	18	19	35,10	30,45	0,016803	30,60	45,72
5516	8	18	20	33,70	30,44	0,016825	30,50	41,04
5517	8	18	21	32,50	30,42	0,016960	30,46	38,09
5518	8	18	22	31,80	30,41	0,017191	30,38	36,17

V-3-2-Journée type : période d'hiver (la chambre du R.D.C)

TIME	MOIS	JOUR	HEUR	TEXT	TINT	HR	TSI	TSE
673	1	29	1	4,00	18,78	0,003836	17,20	5,70
674	1	29	2	4,10	18,72	0,003633	17,71	5,50
675	1	29	3	3,90	18,66	0,003485	16,66	5,30
676	1	29	4	3,80	18,60	0,003324	16,60	5,40
677	1	29	5	3,50	18,54	0,003762	15,55	5,57
678	1	29	6	3,60	18,47	0,004323	16,50	5,71
679	1	29	7	3,70	18,41	0,004505	16,44	4,83
680	1	29	8	3,80	18,37	0,004507	16,37	4,26
681	1	29	9	5,60	18,33	0,004130	15,70	5,37
682	1	29	10	7,60	18,26	0,003958	15,75	6,43
683	1	29	11	6,30	18,30	0,003943	15,80	7,02
684	1	29	12	5,40	18,32	0,003831	16,20	9,90
685	1	29	13	6,10	18,21	0,003814	16,10	10,20
686	1	29	14	6,30	18,13	0,003839	16,47	11,35
687	1	29	15	6,00	18,17	0,003863	17,30	13,32
688	1	29	16	5,70	18,24	0,003876	17,56	12,57
689	1	29	17	5,60	18,19	0,004039	17,39	11,59
690	1	29	18	5,40	18,08	0,004326	17,23	10,04
691	1	29	19	5,20	17,96	0,004828	17,11	8,75
692	1	29	20	5,10	17,97	0,005173	17,09	8,02
693	1	29	21	5,00	18,03	0,005244	17,07	7,55
694	1	29	22	4,80	18,01	0,005209	17,03	6,05
673	1	29	1	4,00	17,98	0,003836	17,66	5,80

Résumés

Résumé

L’usage largement répandu des vitrages dans les façades de l’architecture moderne entraîne des problèmes de surchauffe, posés avec plus d’acuité même dans les régions tempérées et froides. En hiver c’est plutôt la structure de faible poids qui pose le problème de pertes de chaleur. Alors l’utilisation excessive des moyens mécaniques de régulation thermique dans les constructions modernes, s’avère utile pour réaliser des microclimats favorables. Mais avec l’introduction des énergies non naturelles, l’habitat perdit de son influence dans le processus énergétique. La technique consomme de l’énergie et pollue l’air par l’émission du CO_2.

Les tentations des concepteurs de créer des ambiances intérieures confortables dans l’optique de l’économie de l’énergie sont matérialisées par l’apparition de nouveaux concepts. L’architecture climatique, solaire, bioclimatique… Leur pari essentiel est de maîtriser naturellement les conforts d'été et d'hiver, en privilégiant des solutions simples et de bon sens.

Le but des constructions étant de réaliser des ambiances hygrothermiques favorables à l’être de l’occupant, en établissant une relation intelligente qui repose sur la bonne compréhension des échanges thermiques entre le dedans et le dehors. L'inertie thermique des bâtiments, sujet de notre propos est derrière cette intelligente relation. Elle participe au bon rendement, à la bonne utilisation et au confort de la machine thermique.

A cet effet la présente étude pose le problème de la conception non étudiée de l’enveloppe (l’inertie) des maisons du point de vue dimensionnement (épaisseur) et le choix inadapté des matériaux de construction utilisés, sous nos climats. Ce ci conduit en fait à l’inconfort et par conséquent la consommation irrationnelle de l’énergie (électricité, gaz) à l’intérieur des habitations.

Une investigation menée sur une maison de l’époque coloniale à Guelma afin d’estimer le rôle de l’inertie sur le confort hygrothermique. En plus, une villa contemporaine choisie en comparaison pour évaluer l’impact de l’inertie thermique sur la consommation énergétique des bâtiments. Parallèlement une simulation à l’aide d’un logiciel informatique TRNSYS (version 14.1) effectuée pour valider les résultats de l’investigation, et permet de tester divers paramètres qui peuvent aboutir à des meilleures conditions.

Les résultats montrent que l’utilisation d’un matériau local adapté au climat de la région est à l’origine de la réalisation du confort hygrothermique et la consommation réduite de l’énergie. L’inertie des matériaux doit être associée aux moyens de chauffage (d’appoint) et de refroidissement naturel (ventilation nocturne).

Summary

The extensively rife use of glazing in facades of modern constructions entails problems of overheating, posed with more of same acuteness in the moderate and cold regions. In winter it is rather the structure of light weight that puts the problem of heat losses and the protection of the cold weather. Then the excessive use of the mechanical means of thermal regulation in the modern constructions, prove to be useful to achieve some favourable microclimates. But with the non natural energy introduction, the habitat lost his influence in the energizing process. The technique consumes energy and pollutes air by the emission of the CO_2.

Temptations of designers to create some comfortable interior ambiances in the optics of the economy of the energy are materialized by the apparition of the new concepts. The climatic, solar, bioclimate architecture... Their essential bet is to control naturally internal comforts in summer and winter, while privileging the simple solutions and common sense.

The goal of constructions being to achieve the hygrothermal ambiances favourable to the occupant's self, while establishing an intelligent relation that rests on the good thermal exchange understanding between the inside and the outside. The thermal inertia of buildings, topic of our subject is behind this intelligent relation. She participates in the good production, to the good use and the comfort of the thermal machine.

To this effect, the present research poses the problem of the non studied conception of the envelope (the inertia) of houses of the point of view dimensions (thickness) and the maladjusted choice of construction materials used, under our climates. This conducted in makes to the discomfort and therefore the irrational consumption of the energy (electricity, gas) inside dwellings.

An investigating led on a house of the colonial time in Guelma in order to estimate the role of the inertia on hygrothermal comfort. In addition, a contemporary villa had chosen in comparison to value the impact of the thermal inertia on the energizing consumption of buildings. In the same way a simulation with the help of a software computer TRNSYS (version 14.1) done to validate results of the investigating, and permits to test various parameters that can succeed to the best conditions.

Results show that the use of a local material adapted to the climate of the region is to the origin of the realization of hygrothermal comfort and the reduced consumption of the energy. The thermal inertia of materials must be associated to means of heating (appoint) and of natural cooling (nocturnal ventilation).

ملـــخـــــص

الاستعمال الجد انتشارا للزجاج في واجهات التعمير المعاصر يؤدي إلى مشاكل السخونة، مطروحة بحدة حتى على مستوى المناطق المعتدلة و الباردة. في الشتاء، هو بالأحرى الهيكل الخفيف الذي يحرض على مشكل الضياع الحراري و الحماية من البرودة. ادن اللجوء إلى الاستعمال المفرط للوسائل الميكانيكية للتعديل الحراري، داخل البنيات المعاصرة يعتبر حتمية لتحقيق مناخ داخلي موافق. لكن مع إدخال الطاقات غير الطبيعية، السكنات تفقد تأثيرها في الفعل الطاقوي. التقنية تستهلك طاقة و تلوث الهواء بطرح غاز ثاني أكسيد الكربون.

محاولات المصممين لتحقيق أجواء داخلية لطيفة في إطار اقتصاد الطاقة مجسدة ببروز أفكار جديدة: الهندسة المعمارية المناخية، الشمسية و البيومناخية..إلخ. مراهنة هذه الأفكار هو التحكم طبيعيا في الرفاهية الصيفية و الشتوية بترخيص حلول سهلة ذات مفهوم أمثل.

الهدف الأساسي للبنايات هو تحقيق أجواء حرارية و رطوبية موافقة لكيان مستعمليها عن طريق إقامة علاقة ذكية ترتكز على المفهوم الجيد للمبادلة الحرارية بين الداخل و الخارج. السكون الحراري للبنايات، موضوع دراستنا، وراء هذه العلاقة الذكية. فهو يشارك في المردود الجيد، في الاستعمال الأمثل و في الرفاهية للآلة الحرارية (البناية).

و لهذا فالدراسة الحالية تطرح مشكل التصميم غير المدروس لأغلفة البنايات من ناحيـة الأبـعاد (سمك الغلاف) و من ناحية الاختيار غير الموافق لمواد البناء داخل مناخاتنا المحلية. الأمر الذي يؤدي إلى عدم الرفاهية و بالتالي إلى الاستهلاك اللاعقلاني للطاقة(غاز و كهرباء) داخل المساكن.

المنهجية المتبعة في هذا البحث تتمثل في استقصاء ميداني مطبق على منزل مخلف من الحقبة الاستعمارية متواجد بمدينة قالمة ،لاختبار دور السكون الحراري في تحقيق الرفاهية الحرارية و الرطوبية الداخلية. و كذلك، فيلا معاصرة اختيرت للمقارنة لاختبار دور السكون الحراري في اقتصاد الطاقة داخل المنازل. كما لجأت الدراسة بالموازاة إلى إعداد تحاكي للمصادقة على النتائج المتوصل إليها ميدانيا واختبار شتى العناصر التي تسمح للوصول إلى أحسن الشروط.

النتائج المتحصل عليها تؤكد على أن استعمال مادة بناء محلية مكيفة مع طبيعة المناخ وراء تحقيق الرفاهية الحرارية و الرطوبية و اقتصاد الطاقة الداخلية المنازل. السكون الحراري لمواد البناء يجب أن يرافقه استعمال المدفئة في الشتاء والتهوية الطبيعية الليلية في الصيف.