

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**
UNIVERSITE CONSTANTINE -3-
FACULTE D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME
DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE

N° d'ordre :

Série :

THESE
POUR OBTENTION DU DIPLOME DE
DOCTORAT EN SCIENCE
OPTION : **ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE**

Présentée par : **Mme Zohra CHELGHOU**

**CONTRIBUTION A L'EVALUATION ET
L'AMELIORATION DES PERFORMANCES
THERMIQUES DE L'HABITAT DU SUD ALGERIEN
(Cas de Tamanrasset)**

**Sous la direction du: Dr BELHAMRI A.
Professeur département génie climatique**

Jury d'examen :

Présidente	Rouag – Saffidine Dj.	Professeur université Constantine 3
Rapporteur	Belhamri A.	Professeur université Constantine 1

Membres :

Outtas – Abdou S.	Professeur université Constantine 3
Zerouala M.S.	Professeur EPAU Alger
Alkama Dj.	Professeur université Biskra

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE CONSTANTINE -3-

FACULTE D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE

N° d'ordre :

Série :

THESE

POUR OBTENTION DU DIPLOME DE

DOCTORAT EN SCIENCE

OPTION : ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE

Présentée par : **Mme Zohra CHELGHOUM**

**CONTRIBUTION A L'EVALUATION ET
L'AMELIORATION DES PERFORMANCES
THERMIQUES DE L'HABITAT DU SUD ALGERIEN
(Cas de Tamanrasset)**

**Sous la direction du: Dr BELHAMRI A.
Professeur département génie climatique**

Jury d'examen :

Présidente Rouag – Saffidine Dj.

Professeur université Constantine 3

Rapporteur Belhamri A.

Professeur université Constantine 1

Membres :

Outtas – Abdou S.

Professeur université Constantine 3

Zerouala M.S.

Professeur EPAU Alger

Alkama Dj.

Professeur université Biskra

Dédicace :

C'est avec fierté et respect que je dédie ce modeste travail :

- A la mémoire de mon défunt père.
- A la plus chère au monde, ma mère.
- A mes très chères enfants, Intissar, Abderaouf et Roumaïssa.
- A mon cher mari.
- A mes sœurs et frères.
- A ma belle famille.

Remerciements :

Au terme de ce travail, je remercie Dieu l'Éternel, le COMPATISSANT d'avoir écarté de mes yeux le voile de l'ignorance et de m'avoir guidé vers la connaissance de la vraie nature des choses.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à tous ceux nombreux qui m'ont apporté leur aide et qui ont aussi contribué à l'élaboration de ce travail, en mobilisant beaucoup de temps et autant de volonté de leurs part.

- A. Belhamri qui a dirigé cette thèse, son aide précieuse et l'intérêt porté à ce travail ont largement contribué à son aboutissement.
- D^r Aïche M. et D^r Guenadez Z. pour leurs aide précieuse et orientations très efficaces qui m'ont conduite vers l'achèvement de cette recherche.
- Professeur Saffidine, professeur Abdou, professeur Zerouala et le professeur Alkama qui m'ont fait l'honneur d'être membres de jury et pour le professionnalisme et le sérieux avec lesquels ils ont analysé et évalué ce travail.
- Professeur Aïda : professeur au département de physique, directeur du laboratoire de physique énergétique pour son aide précieuse, sa disponibilité et l'intérêt porté à cette recherche.
- M^r Mimouni M. de la station météorologique de Tamanrasset, pour sa disponibilité et son aide concernant le matériel et toutes les informations et données nécessaires pour l'élaboration de ce travail.
- M^r Bousboula N. directeur de l'OPGI de Tamanrasset pour son autorisation et la mise à ma disposition tout les documents nécessaires.
- Tous les architectes et responsables des différents organismes de Tamanrasset ainsi que les familles qui m'ont autorisée et aidé à effectuer les mesures.
- Je souhaite également présenté mes remerciements chaleureux à mon frère Nadir et sa famille pour leur aide, encouragement et l'intérêt manifesté au présent travail.
- Mes vifs remerciements vont également à mon mari et mes enfants qui m'ont encouragé, soutenue et surtout supporté durant ses années de recherche.

RESUME

Face à une pression démographique importante due à la sédentarisation des nomades et à l'immigration du nord du pays, les villes du sud algérien ont connu une forte croissance urbaine lors de ces dernières décennies. Le caractère normatif et universaliste de cette urbanisation standardisée a conduit à une rupture brutale avec l'ancien système ksourien adapté à son environnement, notamment climatique. Conçus selon des critères exclusivement quantitatifs, les logements produits furent loin de satisfaire au confort thermique si important dans ce genre de climat. Les statistiques montrent que le recours aux appareils de conditionnement d'air augmente de plus en plus dans le sud algérien, engendrant d'importantes consommations énergétiques. La ville de Tamanrasset, objet de cette étude, n'échappe pas à cette croissance non maîtrisée tant du point de vue architectural qu'urbanistique.

Parmi les différents problèmes résultant de ces choix architecturaux et urbanistiques, ce travail a pour objectif de mettre en évidence la mauvaise intégration climatique des nouvelles constructions tant du point de vue économique que du niveau du confort qu'elles offrent à leurs habitants. Cette mise en évidence est réalisée en comparaison avec le cadre bâti ancien où le savoir-faire populaire a réussi à obtenir des conditions de confort mieux adaptées au climat local.

Cette approche comparative vise à dégager des solutions passives en rapport avec les exigences environnementales et économiques du développement durable : diminuer l'utilisation massive des énergies fossiles, réduire l'utilisation des gaz à effet de serre...

Une première partie de ce travail examine les différents modes de comportement thermiques des maisons d'habitation ainsi que différents facteurs architecturaux permettant leur maîtrise : protections solaires, inertie, limitation des apports internes...

Ensuite, une analyse climatique de la ville de Tamanrasset a été effectuée en vue d'en préciser la zone de confort thermique et choisir les techniques architecturales les plus appropriées.

L'étude comparative entre l'habitat traditionnel et l'habitat contemporain nous a permis de mettre en évidence les caractéristiques physiques et d'évaluer du point de vue de la performance thermique de ces deux types de construction en fonction du contexte climatique de la ville de Tamanrasset.

L'approche quantitative basée sur la technique d'expérimentation a permis d'évaluer la réponse thermique des différents paramètres architecturaux. Cette phase comprend trois outils :

Une investigation de terrain consistant à prendre des mesures de température et d'humidité relative à l'intérieur de deux maisons échantillon. En raison de l'importance de la conductivité et de la diffusivité thermique dans l'élaboration des bilans thermiques, ces dernières ont été évaluées à l'aide d'un montage expérimental. Ce qui a permis une comparaison entre les propriétés thermo-physiques des matériaux nouveaux et traditionnels employés à Tamanrasset.

Enfin, grâce à un programme de simulation thermique, plusieurs paramètres propres au cadre bâti ont été testés pour la période chaude. Des améliorations ont été appliquées sur l'exemple étudié qui ont donné des abaissements de température significatifs.

Sommaire

Dédicace.....	I
Remerciements.....	II
Résumé.....	III
Sommaire.....	V
Liste des figures.....	XIV
Liste des tableaux.....	XXI
Abréviations.....	XXII

Introduction générale

1- Introduction.....	1
2- Problématique.....	3
3- Question de recherche.....	7
4- Hypothèse de l'étude.....	7
5- objectif de recherche.....	7
6- Méthodologie.....	8
7- Structure de la thèse.....	9

Sommaire de la première partie

APPROCHE THEORIQUE

Introduction.....	12
Chapitre I: CHANGEMENT CLIMATIQUE : Menace pesant sur l'humanité.....	14
Introduction.....	14
I-1 Causes du changement climatique.....	15
I-2 L'effet de serre local et la température de l'air.....	16
I-3 Climatisation, impacts sur l'énergie et sur l'environnement.....	20
I-4 Une climatisation, dix impacts sur l'environnement.....	21
I-5 Canicule et pollution, un redoutable cocktail.....	22
I-6 Les canicules de demain.....	23

Chapitre II: CONFORT THERMIQUE ET BESOINS DES OCCUPANTS	24
Introduction.....	24
II-1 La conscience du bien être.....	25
II-2 Thermique du corps humain.....	25
II-3 Comment le corps lutte contre la chaleur.....	27
II-4 Notion de confort thermique.....	28
II-5 Les règles d'or du confort thermique.....	29
II-6 Mesure du confort thermique.....	30
II-6-1 Températures opératives forfaitaires.....	32
II-6-2 Conditions de confort thermique forfaitaires	33
II-7 Le confort adaptatif.....	33
II-7-1 Utilité des modèles de confort thermique.....	35
II-8 Mesures passives et mesures actives.....	35
Chapitre III : FONCTIONNEMENT ET COMPORTEMENT THERMIQUE	
DU BATIMENT	38
Introduction.....	38
III-1 Fonction thermorégulante des éléments du bâtiment : enveloppe et structure.....	38
III-1-1 Les fonctions d'échange.....	39
III-1-1-1 Les fonctions d'échange des enveloppes	39
III-1-1-2 Les fonctions d'échange des structures internes (planchers et cloisons)..	39
III-1-2 La fonction de captation.....	40
III-1-2-1 La fonction de captation des enveloppe.....	40
III-1-2-2 La fonction de captation des structures internes (planchers et cloisons)..	40
III-1-3 Comment nos maisons se réchauffent?.....	41
III-1-3-1 La pénétration directe du soleil par les fenêtres.....	41
III-1-3-2 La pénétration indirecte par les murs et la toiture.....	42
III-1-3-3 La pénétration de l'air chaud par les ouvertures.....	42
III-1-3-4 La production de chaleur à l'intérieur du bâtiment.....	42
III-1-3-5 La capacité insuffisante des parois à absorber la chaleur.....	43
III-1-3-6 Le renouvellement insuffisant de l'air frais de la nuit, pour évacuer la chaleur.....	43
III-2 Fonctionnement thermique du bâtiment dans les conditions d'ambiances chaudes..	43
III-2-1 Formulation simplifiée de la température intérieure.....	44

III-2-1-1	Température moyenne, température extérieure moyenne.....	44
III-2-1-2	STsi, supplément de température intérieure moyenne.....	44
III-2-1-3	VTi, variation diurne de la température intérieure.....	45
III-2-2	Les principaux facteurs architecturaux influençant la température intérieure....	45
III-2-2-1	Le supplément des températures dû a l'ensoleillement STi.....	45
III-2-2-2	La variation diurne de la température intérieure, VTi.....	46
Conclusion	48
 Chapitre IV : INFLUENCE DES PARAMETRES DE CONCEPTION ET DE		
CONSTRUCTION DES BATIMENTS DES REGIONS CHAUDES		
ET ARIDES.....		
IV-1	Ouvertures.....	49
IV-1-1	L'orientation et l'inclinaison.....	49
IV-1-2	La dimension des surfaces vitrées.....	50
IV-1-3	Protection solaire.....	50
IV-1-3-1	L'ombre obtenue par les masques architecturaux.....	50
IV-1-3-2	Protection mobile.....	51
IV-1-4	Nature du vitrage.....	52
IV-1-5	Les films solaires.....	53
IV-2	Les parois opaques.....	53
IV-2-1	Les qualités thermo physiques des matériaux.....	54
IV-2-2	Dimension des parois.....	55
IV-2-3	Orientation et inclinaison.....	55
IV-3	Les masques architecturaux.....	55
IV-4	Protection des parois horizontales.....	56
IV-5	Couleur et revêtement.....	56
IV-6	Rôle de l'inertie thermique.....	57
IV-7	Isolation et chaleur estivale.....	59
IV-7-1	Isoler les toitures.....	60
IV-7-2	Isoler les murs.....	61
IV-8	Les fonctions attribuées à la ventilation.....	62
IV-8-1	Fermetures perméables.....	62
IV-8-2	Ventilation transversale.....	63
IV-8-3	Ventilation nocturne.....	64

IV-8-3-1 Effet direct.....	64
IV-8-3-2 Effet combiné avec l'inertie thermique.....	64
IV-9 Rafraîchissement par rayonnement.....	65
Conclusion	65
Chapitre V: LA LECON DES ARCHITECTURES SANS ARCHITECTES.....	66
V-1 L'approche bioclimatique de l'habitat traditionnel.....	66
V-1-1 Le choix du lieu.....	66
V-1-2 La structure urbaine: la compacité de rigueur.....	67
V-1-3 L'influence de la forme et du volume.....	68
V-1-4 La cour et son rôle régulateur thermique.....	70
V-1-5 La régulation thermique.....	72
V-1-5-1 Rafraîchissement par évaporation.....	72
V-1-5-2 Le rôle de la végétation.....	73
V-1-6 La ventilation (système de climatisation naturelle).....	75
V-1-6-1 Le puits provençal.....	76
V-1-7 L'urbanisme et l'architecture troglodytique.....	78
V-1-8 Les matériaux traditionnels: une efficacité prouvée.....	79
V-2 Exemples d'architecture contemporaine.....	80
V-2-1 Combinaison des concepts : aération, protection et rafraîchissement.....	80
V-2-2 Utilisation contemporaine de la ventilation et masse thermique.....	81
V-2-3 Utilisation contemporaine du concept de l'inertie thermique.....	83
V-2-4 Utilisation contemporaine des éléments de l'architecture Arabo-musulmane....	84
V-2-5 Le contact avec le sol.....	85
V-2-6 Compacité et inertie thermique	87
Conclusion.....	89

Sommaire de la deuxième partie

INTERROGATIONS SUR TAMANRASSET

Introduction.....	92
-------------------	----

Chapitre I: EVOLUTION ET DEVELOPPEMENT DE LA VILLE

DE TAMANRASSET.....	94
----------------------------	-----------

Introduction.....	94
-------------------	----

I-1 Un siècle d'histoire.....	94
I-2 Données démographiques.....	98
I-3 Evolution de l'habitat à Tamanrasset.....	101
I-3-1 L'habitat nomade (la tente).....	101
I-3-2 Entre tente et maison la hutte ou zériba (l'EKEBER).....	102
I-3-3 Les maisons.....	104
I-3-4 Typologie de la maison.....	105
I-3-4-1 La maison bipartie.....	105
I-3-4-2 La maison à cour.....	105
I-3-4-3 La maison à patio.....	106
I-3-4-3 Le Sorro.....	106
I-4 Evolution urbaine de la ville de Tamanrasset.....	108
I-5 Analyse urbaine.....	112
I-5-1 Structure urbaine traditionnelle.....	114
I-5-2 Tissu urbain contemporain.....	115
I-6 Analyse architecturale.....	116
I-6-1 La maison traditionnelle.....	116
I-6-2 La maison contemporaine saharienne: vers une maison locale standard.....	118
I-6-3 Matériaux de construction et systèmes constructifs.....	120
Conclusion.....	123
Chapitre II : ANALYSE CLIMATIQUE ET BIOCLIMATIQUE.....	125
Introduction.....	125
II-1 Types de climat.....	125
II-1-1 Les climats chauds et leurs contextes.....	126
II-1-2 Situation et caractéristiques du climat désertique.....	126
II-1-2-1 Température de l'air.....	127
II-1-2-2 Précipitations et Humidité relative.....	127
II-1-2-3 Les vents.....	127
II-1-2-4 Radiation solaire.....	127
II-1-3 Calcul du degré d'aridité.....	128
II-1-3-1 Indice de Gaussen.....	128
II-1-3-2 Indice d'aridité de Martonne.....	129
II-1-4 Importance et effet du climat.....	129

II-1-4-1 Les éléments du climat.....	130
II-2 Analyse des caractéristiques du climat de Tamanrasset.....	131
II-2-1 Caractéristiques géographiques et climatiques de Tamanrasset.....	131
II-2-2 Localisation de Tamanrasset par rapport aux différentes zones climatiques.....	132
a- Zone climatique d’hiver.....	132
b- Zone climatique d’été.....	132
II-2-3 Le rayonnement solaire.....	134
II-2-3-1 Importance et effet du rayonnement solaire en architecture.....	134
II-2-4 La température de l’air.....	136
II-2-5 L’humidité atmosphérique.....	138
II-2-6 Les précipitations.....	139
II-2-7 La fréquence et les directions des vents.....	141
Conclusion.....	142
II-3 Analyse bioclimatique de Tamanrasset.....	144
II-3-1 Diagramme bioclimatique.....	144
II-3-2 Zone de contrôle potentiel (Steeve Szockolay).....	145
II-3-3 Interprétation des résultats.....	146
II-3-4 Tableaux de Mahonneu.....	149
Conclusion.....	149
Chapitre III: L’ENERGIE ET SON RÔLE VITAL.....	151
Introduction.....	151
III-1 Facteurs influençant la consommation énergétique.....	152
III-1-1 Caractéristiques socio-économiques.....	152
III-1-2 Caractéristiques de l’habitat et aménagement urbain.....	152
III-2 Evolution de la consommation énergétique a Tamanrasset.....	153
III-2-1 Comparaison de la consommation d’énergie électrique.....	155
III-3 Economie de l’énergie dans le bâtiment.....	158
III-4 Problématique de l’énergie en Algérie.....	159
Conclusion.....	159
Conclusion de la partie 2.....	160

Sommaire de la troisième partie

INVESTIGATIONS

Introduction.....	163
-------------------	-----

Chapitre 1: ANALYSE DES PROPRIETES THERMO PHYSIQUES DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

"La conductivité et la diffusivité thermique".....	165
Introduction.....	165
I-1- La conductivité thermique (λ).....	165
I-2 La diffusivité thermique (a).....	166
I-3 Etude expérimentale.....	167
I-3-1 Principe de la mesure: (méthode flash).....	167
I-3-2 Résultats de calcul de (λ) et (a) des différents matériaux.....	169
I-4 Interprétation des résultats.....	172
Conclusion.....	172

Chapitre II : ETUDE QUANTITATIVE DU COMPORTEMENT THERMIQUE DE CONSTRUCTION EN SITUATION REELLE.....

Introduction.....	174
II-1 Mesure de la température intérieure et de l'humidité relative.....	174
II-1-1 Organisation de la campagne des mesures.....	174
II-1-2 Les appareils de mesure.....	175
II-1-3 La campagne de mesures (période Janvier et juillet 2009).....	176
II-1-4 Présentation des échantillons destinés pour les mesures.....	177
II-1-5 Conditions des observations.....	181
II-1-5-1 Pendant la période chaude et ensoleillée.....	181
II-1-5-2 Pendant le période froide.....	182
II-2 Analyse des résultats.....	182
II-2-1 Analyse des variations de la température et de l'humidité relative intérieure et extérieure : période hivernale.....	183
II-2-1-1 Cas de l'habitat traditionnel.....	183
II-2-1-2 Cas de l'habitat contemporain.....	187
II-2-2 Evaluation de la performance thermique de l'habitat testé (période hivernale)..	190

II-2-2-1 Période hivernale	190
II-2-3 Analyse des variations de la température et de l'humidité relative intérieure et extérieure : période estivale.....	192
II-2-3-1 Cas de l'habitat traditionnel.....	192
II-2-3-2 Cas de l'habitat contemporain.....	196
II-2-4 Evaluation de la performance thermique de l'habitat testé (période estivale).....	200
Conclusion.....	204
<u>Chapitre 3 : SIMULATION DU COMPORTEMENT THERMIQUE</u>	
DE LA CONSTRUCTION.....	206
Introduction.....	206
III-1 Procédure détaillé du modèle informatisé pour l'évaluation de la température intérieure.....	207
III-1-1 Charges dues à l'environnement intérieur.....	207
III-1-1-1 Charges dues aux occupants.....	208
III-1-1-2 Apports dus aux machines électriques.....	208
III-1-1-3 Apports dus à l'éclairage.....	208
V-1-1-4 Autres appareillages.....	208
III-1-2 Charges dues a l'environnement extérieur.....	208
III-1-2-1 Apports par infiltration.....	209
III-1-2-2 Apports à travers les vitres.....	209
III-1-2-3 Apports par ensoleillement.....	209
III-1-2-4 Apports par transmission.....	214
III-1-2-5 Apports par parois opaques externes.....	214
III-2 Calcul de la température intérieure (t_i) pour la période estivale.....	216
III-3 Méthodologie de simulation.....	216
III-3-1 Les paramètres pris en considération.....	217
III-3-1-1 Les paramètres de conception.....	217
a- L'inertie thermique.....	217
b- La protection contre l'ensoleillement.....	217
c- Apports internes.....	218
d- La ventilation.....	218
III-3-1-2 Les données climatiques.....	218
III-3-2 Conditions de calcul.....	219

III-3-2-1 Evaluation du comportement thermique	
du cas d'étude (cas de référence).....	219
III-3-2-2 Optimisation du projet pour le cas de Tamanrasset.....	221
a- Les murs extérieurs.....	221
- Impact de l'isolant.....	221
- Impact des matériaux de construction.....	222
- Impact de l'inertie thermique (parois simple).....	223
b- La toiture.....	224
- Impact de l'épaisseur de l'isolant.....	224
- Impact du type d'isolant.....	225
c- Influence des apports intérieurs.....	227
d- Effet du coefficient d'absorption.....	227
e- Effet de la ventilation.....	228
f- Influence d'une source froide.....	230
III-3-3 Le cas optimal.....	230
Conclusion.....	233
Conclusion de la partie.....	235
CONCLUSION GENERALE	238
1- Conclusion.....	238
2- Résultats obtenus.....	241
3- Recommandations.....	245
4- Suggestions pour des travaux futurs.....	248
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	249
ANNEXES	256
ملخص.....	269
ABSTRACT.....	270

Liste des figures

Partie 1

Chapitre I :

Figure I-1: augmentation de la température du globe	15
Figure I-2: Gaz à effet de serre	16
Figure I-3 : Variation de l'albédo dans l'environnement urbain.....	18
Figure I-4 : la température des grandes villes est supérieure à celle de la campagne	19
Figure I-5 : L'activité humaine renforce la chaleur ambiante.....	19
Figure I-6 : consommation énergétique et émission de CO ₂ des différents secteurs	20
Figure I-7 : demande en énergie dans le secteur du bâtiment	21

Chapitre II :

Figure I-8 : représentation schématique du métabolisme humain.....	26
Figure I-9 : répartition des échanges de chaleur	27
Figure I-10 : évolution des températures dans les bâtiments sans chauffage ou climatisation	30
Figure I-11 : Température opérative idéale en fonction de l'habillement et du métabolisme (d'après ISO 7730).....	31
Figure I-12 : Modèle de confort adaptatif De Dear et Brager et selon ISO pour 1,2met	34

Chapitre III :

Figure I-13 : captage et stockage thermique	41
Figure I-14 : schéma récapitulatif	47

Chapitre IV :

Figure I-15 : différents types d'écrans et leurs refroidissements.....	51
Figure I-16 : évolution de la température dans un mur extérieur au cours d'un jour complet.....	54
Figure I-17 : la couleur influence la température intérieure et le stockage de la chaleur	57
Figure I-18 : influence de l'inertie thermique sur le déphasage.....	58
Figure I-19 : rôle de l'inertie et l'isolation	58
Figure I-20 : isolation des toitures et des murs Schéma repris par l'auteur	60

Figure I-21 : toiture et parois ventilées.....	61
Figure I-22 : principe de ventilation.....	62
Figure I-23 : Type de fermeture perméable (moucharabieh).....	63
Figure I-24 : Principe d'écoulement d'aire	63
Figure I-25 : ventilation nocturne et rafraîchissement	64
 Chapitre V :	
Figure I-26 : La forme urbaine compacte.....	68
Figure I-27 : rapport entre la surface de l'enveloppe et la surface utile du bâtiment	69
Figure I-28 : L'ombre portée par la hauteur des parapets	70
Figure I-29 : Disposition dispositifs d'humidification (eau et végétation).....	72
Figure I-30 : une protection végétale abaisse nettement la température d'un mur exposé au soleil	73
Figure I-31 : action d'absorption et de réémission du rayonnement solaire	74
Figure I-32 : l'ombre procurée par la végétation	74
Figure I-33 : la tour à vent	76
Figure I-34 : puits provençal	77
Figure I-35 : effet du puits provençal sur la température	78
Figure I-36 : bureau de Datagroup Allemagne	81
Figure I-37 : siège administratif de Iguzzini Italie.....	82
Figure I-38 : centre culturel et social Mali	83
Figure I-39 : institut du monde arabe Paris	85
Figure I-40 : Projet 222 Pays des Galles	86
Figure I-41 : Ksar Tafilalt : Beni Iezguen Ghardaïa-Algérie	88

Partie 2

Chapitre I :

Figure II-1 : la chapelle construite par Foucauld C. 1905.....	96
Figure II-2 : Sorro en 1916.....	97
Figure II-3 : terrains cultivés et foggaras	98
Figure II-4 : peintures et gravures rupestres datant de 600 à 5400 av. J.C.....	98
Figure II-5 : carte des régions naturelles de l'Ahaggar	100
Figure II-6 : zone de diffusion de la culture.....	100

Figure II-7 : habitat des nomades Touaregs	101
Figure II-8 : La hutte (l'Ekeber)	103
Figure II-9 : maison traditionnelle.....	104
Figure II-10 : vue générale et plan d'une maison à cour.....	105
Figure II-11 : plan d'une maison à patio.....	106
Figure II-12 : plans et façade du Sorro.....	107
Figure II-13 : Sorro en ruine.....	107
Figure II-14 : le centre colonial en 1930.....	109
Figure II-15 : le fort Lapperine en 1920.....	109
Figure II-16 : quartier colonial.....	110
Figure II-17 : vue sur une rue et une maison de la période coloniale.....	110
Figure II-18 : quartier traditionnel Tahaggart.....	111
Figure II-19 : plan de la ville de Tamanrasset	113
Figure II-20 : structure urbaine traditionnelle.....	114
Figure II-21 : vue sur une rue traditionnelle.....	115
Figure II-22 : structure urbaine contemporaine.....	116
Figure II-23 : vue sur une rue contemporaine.....	116
Figure II-24 : plan d'une maison traditionnelle.....	117
Figure II-25 : vue d'intérieure d'une maison traditionnelle.....	118
Figure II-26 : Plans et façades de la maison contemporaine.....	119
Figure II-27 : fondations d'un mur traditionnel.....	121
Figure II-28 : détail d'un mur.....	121
Figure II-29 : mur en matériaux locaux et toiture traditionnel.....	121
Figure II-30 : architecture contemporaine.....	122
Figure II-31 : détail d'une toiture et d'un mur de la construction contemporaine.....	123
 Chapitre 2 :	
Figure II-32 : situation administrative de Tamanrasset.....	132
Figure II-33 : situation par rapport au tropique du cancer.....	132
Figure II-34 : représentation du climat de tamanrasset (période 2000-2009)	133

Figure II-35 : intensité et rayonnement solaire période 2000/2009.....	135
Figure II-36 : rayonnement solaire de différentes orientations.....	136
Figure II-37 : température de l'air période 2000/2009.....	137
Figure II-38 : comparaison entre la température de la période 2000/2009 et 1937/1968.....	138
Figure II-39 : humidité relative de la période 2000/2009.....	139
Figure II-40 : précipitation de la période 2000/2009.....	140
Figure II-41 : vitesse du vent période 2000/2009.....	141
Figure II-42 : fréquence et direction du vent.....	142
Figure II-43 : diagramme bioclimatique de Tamanrasset.....	147
Figure II-44 : diagramme bioclimatique de Tamanrasset.....	148

Chapitre 3 :

Figure II-45 : consommation énergétique des différents secteurs.....	153
Figure II-46 : Comparaison de la consommation d'électricité des différents secteurs (kwh)	154
Figure II-47 : Prix coûtant de la consommation d'énergie des différents secteurs (dinar algérien)	155
Figure II-48 : consommation de l'énergie électrique (kw.h) dans l'habitat contemporain (H.C)	156
Figure II-49 : consommation de l'énergie électrique (kw.h) dans l'habitat traditionnel (H.T)	156
Figure II-50 : comparaison de la consommation de l'énergie électrique dans les deux types d'habitat.....	157
Figure II-51 : comparaison des prix coûtant de la consommation de l'énergie électrique dans les deux types d'habitat	157

Partie III

Chapitre 1 :

Figure III-1 : schéma de principe de la conductivité thermique.....	166
Figure III-2 : échantillons testés.....	167
Figure III-3 : Photo et schéma de principe du montage expérimental de mesure.....	168

Figure III-4 : Variation des températures T_1 et T_2 de l'échantillon cas de terre et Tehli.....	169
Figure III-5 : Variation des températures T_1 et T_2 de l'échantillon cas de brique de terre et crépissage.....	170
Figure III-6: Variation des températures T_1 et T_2 de l'échantillon cas de la pierre naturelle.....	170
Figure III-7 : Variation des températures T_1 et T_2 de l'échantillon cas de parpaing.....	170
Figure III-8: comparaison entre les variations de la température T_1 (face avant) et T_2 (face arrière) pour les différents matériaux testés.....	171
 Chapitre 2 :	
Figure III-9 : appareils de mesures.....	176
Figure III-10 : quartier contemporain (Adriane)	177
Figure III-11 : plan de l'échantillon destiné pour les mesures (logement contemporain)	178
Figure III-12 : plan du local testé (logement contemporain)	178
Figure III-13 : quartier traditionnel (El Hofra)	179
Figure III-14 : plan de l'échantillon destiné poules mesures (logement traditionnel)	180
Figure III-15 : plan du local testé (logement traditionnel)	180
Figure III-16 : amplitude des températures extérieure et intérieure (HT) du 09 au 15/01/2009.....	184
Figure III-17: variation de la température extérieure et intérieure (HT) Journée du 10/01/2009.....	184
Figure III-18 : variation de la température extérieure et intérieure (HT) du 09 au 15/01/2009.....	185
Figure III-19 : variation de l'humidité relative extérieure et intérieure (HT) Journée du 10/01/2009.....	186
Figure III-20 : variation de l'humidité relative extérieure et intérieure (HT) du 09 au 15/01/2009.....	186

Figure III-21 : variation de la température extérieure et intérieure (HC) journée du 10/01/2009.....	187
Figure III-22 : amplitude des températures extérieure et intérieure (HC) du 09 au 15/01/2009.....	188
Figure III-23 : variation de la température extérieure et intérieure (HC) du 09 au 15/01/2009.....	188
Figure III-24 : variation de l'humidité relative extérieure et intérieure (HC) journée du 10/01/2009.....	189
Figure III-25 : variation de l'humidité relative extérieure et intérieure (HC) du 09 au 15/01/2009.....	190
Figure III-26 : variation de la température extérieure et intérieure (HT et HC) journée du 10/01 2009.....	191
Figure III-27 : comparaison de la température extérieure et intérieure (HT et HC) et les limites de confort.....	191
Figure III-28 : amplitude des températures extérieure et intérieure (HT) du 07 au 13/07/2009.....	193
Figure III-29 : variation de la température extérieure et intérieure (HT) journée du 08/07/2009.....	194
Figure III-30 : variation de la température extérieure et intérieure (HT) du 07 au 13/07/2009.....	194
Figure III-31 : variation l'humidité relative extérieure et intérieure (HT) Journée du 08/07/2009.....	195
Figure III-32 : variation de l'humidité relative extérieure et intérieure (HT) du 07 au 13/07/2009.....	195
Figure III-33 : amplitude des températures extérieure et intérieure (HT) du 07 au 13/07/2009.....	196
Figure III-34 : variation de la température extérieure et intérieure (HC) Journée du 08/07/2009.....	197
Figure III-35 : variation de la température extérieure et intérieure (HC) du 07 au 13/07/2009.....	197
Figure III-36 : variation de l'humidité relative extérieure et intérieure (HC) Journée du 08/07/2009.....	199

Figure III-37 : variation de la température extérieure et intérieure (HC) du 07 au 13/07/2009.....	199
Figure III-38 : variation de la température extérieure et intérieure (HT et HC) Journée du 08/07/2009.....	200
Figure III-39 : comparaison des températures mesurées avec les limites de confort	201

Chapitre 3 :

Figure III-40 : Comparaison entre la T° ext. et les T° calculées et mesurées du cas de référence.....	220
Figure III-41 : Variation de la T° int. du local en fonction du type d'isolant.....	222
Figure III-42 : Effet des matériaux de construction sur la température intérieure du local.....	223
Figure III-43 : Variation de la T° int. du local en fonction du type de parois.....	224
Figure III-44 : Variation de la T° int. du local pour différentes épaisseurs de l'isolant.....	225
Figure III-45 : Variation de la T° int. du local pour différents types d'isolants.....	226
Figure III-46 : Influence des charges internes sur la T° intérieure du local.....	227
Figure III-47 : Influence de la couleur de la toiture sur la T° intérieure du local.....	228
Figure III-48 : Influence du taux de ventilation sur la T° intérieure du local.....	229
Figure III-49 : Effet d'une source froide sur la T° intérieure du local.....	230
Figure III-50 : Comparaison entre le cas étudié et le cas proposé après amélioration.....	231
Figure III-51 : Comparaison entre le cas étudié et le cas proposé en ajoutant un taux de ventilation.....	233

Liste des tableaux

Partie I

Tableau I-1: Quantité de chaleur dissipée par une personne	28
Tableau I-2 : températures opératives forfaitaires pour quelques espaces typiques (CEN, 1998)	32
Tableau I-3: les trois classes d'environnements intérieurs proposés dans le rapport (CEN, 1998)	33
Tableau I-4 : Les avantages et les inconvénients des mesures passives ou des mesures actives	37
Tableau I-5 : Facteurs solaire en pourcentage de différents types de protections.....	52
Tableau I-6: Coefficient d'isolation et facteur solaire de différents vitrages.....	52
Tableau I-7: protections adaptées contre le soleil d'été en fonction de l'orientation du vitrage (vitrages verticaux)	53
Tableau I-8 : Mesures réalisées en Floride sur l'effet protecteur de protections végétales.....	55

Partie 2

Tableau II-1 : évolution de la population et du parc logement commune de Tamanrasset.....	101
Tableau II-2 : indice d'aridité de Martonne.....	129
Tableau II-3 : résultats des calculs de la méthode Szockolay.....	146
Tableau II-4 : données climatiques nécessaires pour l'analyse bioclimatique.....	146

Partie 3

Tableau III-1 : tableau récapitulatif des résultats de l'expérience	171
--	-----

ABREVIATION:

ASHRAE : American society of heating refrigerating and air conditioning engineers.

UDES : Unité de Développement des Equipements Solaire.

GES : Gaz à Effet de Serre.

CDER : Centre de Développement des Energies Renouvelable.

APRUE : Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie.

OPNAT : Office du Parc National de l'Ahaggard.

CFC : Chloro-Fluoro-Carbones.

CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.

ISO : organisation internationale de normalisation (normes ISO).

GIEC : Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat.

DPAT : Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire.

OMM : Organisation Météorologique Mondiale.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

1- Introduction :

Entre 1950 et 2008, la population mondiale est passée de 2,5 à 6,7 milliards d'habitants, et le nombre de ville de plus de 8 millions de 2 à 35 villes. (GIEC^{*}, 2009)

Actuellement, plus de la moitié de la population mondiale vit dans les villes et, d'ici 2025, si la tendance actuelle se poursuit, ce sont les 2/3 de l'humanité qui devraient s'y regrouper. (CSTB^{**}, 2009)

Le but du développement urbain constitue donc, la chance pour de meilleures conditions de vie des hommes et la protection des ressources naturelles de la planète, à travers sa capacité de regrouper un grand nombre d'habitants en réduisant leurs nuisances sur l'environnement naturel.

Malheureusement, les villes nous offrent le spectacle affligeant de destructions massives, des ressources naturelles, de désordre, de gaspillage insensé et de pollution.

En effet, l'histoire de l'architecture et de l'urbanisme du XX^e siècle a longtemps été dominée par le mouvement moderne qui a favorisé la génération d'un style international faisant souvent fi des caractéristiques climatiques et des particularismes régionaux.

Alignée sur un développement industriel, dont on ne mesurait pas encore les nuisances, la ville moderne par sa taille, sa population, ses activités, ses rythmes de croissance a un impact non négligeable sur l'environnement et détruit l'équilibre fragile de l'écosystème dont les conséquences sont néfastes.

Au niveau de la gestion des ressources, les études à l'échelle du globe montrent que la consommation énergétique du secteur résidentiel et tertiaire se situe actuellement selon les pays aux alentours de 30 à 40% de la consommation totale environ 1/3. (Lavigne P, 2009) Cette consommation inégalement répartie dans le monde fait largement appel aux combustibles fossiles, qui sont des ressources non renouvelables.

En ce qui concerne la pollution, les activités humaines ont entraîné un accroissement des émissions des gaz à effet de serre^{***}, et de CO₂ lors de l'utilisation de combustibles fossiles dans les différents domaines, entre autre le secteur résidentiel. Le rejet de CO₂ qui a augmenté de 70% entre 1970-2004 (approchant les 50 milliards de tonnes par an). (GIEC, 2007). Par conséquent, la concentration de CO₂ dans l'atmosphère est passé de 280ppm (partie par million) avant

^{*} GIEC : Groupe Intergouvernemental d'Expert sur le Climat

^{**} CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.

^{***} Les gaz à effet de serre piègent le rayonnement émis par la terre (infrarouge) dont une partie est remise en direction du sol contribuant ainsi au réchauffement des basses couches de l'atmosphère.

l'ère industrielle à 379 en l'an 2005, elle augmente actuellement de 0,5% par an, à ce rythme, elle doublerait en 2060. (GIEC, 2007 scénarios d'estimation).

La forte augmentation dans l'atmosphère de concentration est donc responsable à 55% de l'accroissement de l'effet de serre* (décennie 80), les CFC (chloro-fluoro-carbones) 25% et le méthane à 15%, le protoxyde d'azote (N₂O), le SF₆ et l'ozone formé explique les 5% restant (GIEC, 2007). Notons que les rejets des pays de la communauté européenne sont estimés à 22% pour le secteur du bâtiment seul, ce qui est loin d'être négligeable. (GIEC, 2009)

L'augmentation de la proportion des émissions de CO₂ et des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, engendre des risques importants sur les modifications des conditions climatiques du globe. D'après Troche, J. P. (1986) "les modifications produites sont, en général, illustrées par des températures plus élevées, une humidité plus faible, des vents moins forts, mais des turbulences plus fréquentes. Dans son troisième rapport d'évaluation le (GIEC) confirme à nouveau la gravité du diagnostic et prévoit pour 2100, une augmentation de la température de l'air en surface de 1,5 à 6°C en moyenne globale.

Des preuves plus solides indiquent que le réchauffement de la planète est attribué aux activités humaines, et à leur concentration sous forme de ville, car on observe souvent qu'une ville est plus chaude qu'une zone rurale (Bozonnet E. et al, 2006), du moment que la température d'un endroit donné étant très dépendante des caractéristiques de sa surface (albédo).

La principale conséquence de l'urbanisation sur le climat est la modification du bilan radiatif et l'apport d'énergie lié aux activités humaines. Ces deux facteurs agissent sur les températures de l'air et contribuent à la constitution d'un îlot de chaleur urbain "l'îlot de chaleur urbain (ICU) s'explique par le stockage de la chaleur dans la masse bâtie au cours de la journée et sa restitution progressive au cours de la nuit". (Oke T.R., 1981)

L'intensité de l'îlot de chaleur urbain dépend également de la géométrie urbaine. En effet, le changement climatique et l'îlot de chaleur urbain modifient notre consommation énergétique, car pour assurer le confort thermique, le recours à l'utilisation abusive de la climatisation artificielle sous ses différentes formes, accentue le problème d'utilisation des appareils à gaz à substitution des CFC, en particulier les HCFC (Hydro-chloro-fluoro-carbone) qui sont en partie responsables du trou de la couche d'ozone.

Selon les prévisions actuelles des modèles climatiques, la hausse des températures devraient se poursuivre au cours du 21^{ème} siècle. Ce réchauffement présente des risques réels

* On appelle "effet de serre" à l'échelle planétaire, la rétention par l'atmosphère de l'énergie calorifique envoyée au sol par le soleil. Pour schématiser : l'atmosphère et les gaz à effet de serre se comportent comme la vitre qui maintient la chaleur à l'intérieur de la serre du jardin.

pour la planète, et devrait avoir des répercussions aussi bien négatives que positives sur la nature et l'homme.

Afin de sauver notre planète, on doit changer nos comportements, en luttant contre le gaspillage des ressources fossiles et de réduire les émissions des polluants. Donc, construire des bâtiments à bas profil énergétique doit permettre d'économiser une énergie qui devient précieuse, par le recours aux énergies renouvelables inépuisables et propres, car le soleil, le vent, l'eau et même la terre sont des ressources d'énergie qui nous permettent de chauffer ou rafraîchir nos constructions sans nuire à la planète. D'après les scénarios les plus optimistes l'épuisement des ressources en pétrole et en gaz est prévu à la fin du 21^{ème} siècle. (Lavigne P, 2009)

Pour le bâtiment, le concepteur devra assurer l'abri et le confort de l'utilisateur, mais devra, de plus, faire en sorte que l'impact du bâtiment sur l'environnement soit minimisé. Donc, l'architecture bioclimatique apparaît, tel que définie par Chatelet A., "cette expression qui 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'architecte". (Chalet A. et Al 1998). De ce fait l'architecture doit être plus que jamais pensée et réalisée en cohérence avec les exigences d'un contexte connu par ses spécificités géo-climatiques.

De par sa situation géographique, l'Algérie en générale et, Tamanrasset en particulier, disposent d'un potentiel considérable en énergie renouvelable et non polluante, surtout le gisement solaire. Par conséquent, il est recommandé d'adopter une stratégie de développement de ces énergies.

2- Problématique :

L'Algérie a développé depuis l'indépendance son économie de base et a adopté la politique de décentralisation, pour encourager la sédentarisation et le développement des régions à climat chaud (sud du pays), en y multipliant les offres d'emplois et assurant un logement décent. Car les conditions climatiques, et les ambiances environnementales du cadre bâti, dans cette vaste région, aggrave le problème de déséquilibre dans la répartition démographique que connaît le pays. La nécessité de développement des méthodes passives, économiques susceptibles de rétablir et contrôler les ambiances environnementales internes du cadre bâti, nous semble une question pertinente pour toute opération de développement dans ces régions, sans

pour autant négliger le souci majeur des instances internationales (problèmes d'environnement et de santé).

Malheureusement, sous la pression de la forte demande en logement, une nouvelle tendance en architecture et urbanisme a été développée dans ces régions, en vue d'accepter librement la technologie du monde occidental et aux valeurs qu'il véhicule: le mythe de la modernité, les courants hygiénistes et l'industrialisation, sans prendre en considération ni son effet, ni sa convenance. Ainsi cette technologie ne reflète pas les aspirations socioculturelles du citoyen algérien et ne répond pas aux exigences climatiques et économiques du pays.

"... l'Algérie continue à perpétuer jusqu'à nos jours cette architecture et urbanisme qui ont atteint leurs limites là même où elles sont inventées". (Mahimoud A, 2010)

L'architecture ne doit pas ignorer les phénomènes physiques et naturels qui participent dans la qualité de l'ambiance des espaces qu'elle crée, leur considération dans chaque phase de conception est déterminante. (Slavide P, 2008)

L'architecture doit être étudiée en fonction du climat, elle doit être climatique ou bioclimatique, sinon elle n'est pas complètement architecture. (Lavigne P, 1994)

L'architecture et l'urbanisme vernaculaires ont su prendre leurs besoins en charge. Ainsi, dans les régions chaudes, l'architecture locale a su faire preuve de sobriété et d'ingéniosité, pour se protéger des surchauffes et du rayonnement solaire. Du moment qu'à une époque où les "systèmes de domination" de l'environnement étaient limités, la rigueur des conditions climatiques avaient contraint les populations locales des régions chaudes à composer avec le climat.

En effet, n'ayant à leur disposition qu'une gamme très réduite de matériaux et de technologies, nos anciens savaient compenser cette simplicité par une remarquable et intuitive compréhension du climat.

Leurs connaissance intuitive du milieu physique, leur permit alors d'expérimenter et de développer, à travers le temps et l'espace, des formes, des volumes, des techniques d'une extraordinaire ingéniosité, et ce faisant, d'adapter leur cadre de vie aux facteurs naturels.

"En étudiant les traditions locales, on découvre que de nombreuses habitations sont -climatisées naturellement- au vrai sens du terme. Ces constructions sont l'aboutissement d'un cycle répété d'essais améliorés. Elles tiennent compte de l'expérience accumulée par des générations successives de bâtisseurs". (Fathi H, 1986)

Les pays musulmans, ainsi que l'Algérie sont dotés d'un grand nombre de vieilles villes médinas, Ksour, etc., qui ont fait l'objet d'une telle expérience. Cette architecture sans

architecte a produit des solutions aussi performantes avec les moyens techniques limités de l'époque tout en respectant le contexte climatique et culturel, le cadre social et les modes de vie.

"... une variété morphologique se traduisant par une richesse dans la composition architecturale et les modes de réponse spatiales; relevant d'un schéma d'organisation spatio-climatique induit par une même logique de conception". (Fathi H, 1986) De telles approches qui utilisent judicieusement la performance thermique des matériaux, les dimensions des ouvertures, l'agencement des constructions et la ventilation induite par des moyens naturels ont été négligées.

"Ces unités spatiales d'une grande qualité architecturale et urbaine dont la valeur historique, artistique et culturelle est incontestable, ont traversé les siècles pour échouer aujourd'hui sur le rivage d'une croissance urbaine galopante".(Mahimoud A, 2010)

La production d'habitat étatique représente une part importante de la production totale. C'est une production massive de tissus ouverts, fait de barres sans préoccupation du climat "Avec des rues larges, exposées à la violence des tempêtes de sable et à l'ardeur du soleil, ils sont construits selon un alignement répétitif de blocs de quatre à cinq étages, sans relief ni âme, glaciales en hiver et torrides en été, ce qui témoigne de l'incapacité de l'urbanisme moderne à s'adapter à la spécificité de l'environnement Saharien". (Naciri M, 1998)

Les villes Algériennes tendent vers l'uniformité, car elles bénéficient d'une grille d'équipement unique, occupent sensiblement, les mêmes fonctions et sont régies par des normes et modes de constructions semblables, entraînant une similarité croissante entre elles, tout en gommant leurs spécificités traditionnelles. Alors que les villes du Sahara constituent une catégorie particulière liée à leur climat aride et à leur isolement sur des étendus désertiques.

M. Cote affirmait : "Les extensions sont, souvent, réalisées en rupture complète avec les modes des constructions traditionnelles dans les plans, dans les matériaux et dans l'implantation l'on a là, des villes du nord transportées dans le sud, ce qui ne va pas sans problème d'habitabilité. L'aberration de cet aménagement d'un urbanisme fait pour d'autres lieux, c'est qu'il produit de la lumière brute au lieu de créer comme dans le Ksar, l'ombre protectrice des rigueurs du soleil pendant les heures chaudes de la journée, cette réalisation occulte la continuité historique de la formation de la ville, ce qui lui fait perdre peu à peu, son cachet". (Cote M, 1996)

En effet, ce modèle implanté un peu partout en Algérie a permis l'introduction de nouvelles techniques ainsi que l'apparition de nouveaux matériaux. Ces dernières n'ont fait que supplanter les types d'architecture traditionnelle et le savoir-faire que possède notre pays, qui

sont aussi riches et diversifiés que ne l'est son climat. Paradoxalement, l'évolution des techniques et des procédés de construction, s'est surtout fait au détriment des performances thermiques du cadre bâti.

Cependant, cette mauvaise intégration des constructions au climat se traduit par, les niveaux de consommation d'énergie électrique qui ont enregistré une nette augmentation, surtout en été, d'une façon générale, en 2001 la quantité consommée égale à 3913 PMA (puissances maximales appelées) et en 2011 elle atteint 8746 PMA. (CDER*, 2012), la plus importante part été enregistrée dans le secteur résidentiel égale à 42% équivalent à 63kwh/m².an, avec une augmentation d'environ 2,3 Mtep entre 2005 et 2011. (APRUE** 2005)

L'urbanisation et l'architecture de la ville saharienne est problématique, car elle a perdu son originalité, elle y a perdu dans ses qualités bioclimatiques et son patrimoine architectural, les deux étaient de qualité.

A cet effet nous tenterons à travers ce travail de cerner les causes de ces problèmes qui deviennent sérieusement préoccupants, et d'essayer de chercher une méthodologie pour une adaptation bioclimatique dans la construction de nos villes du sud.

Ainsi, le problème est posé, il tourne autour de l'inadaptation climatique du bâtiment contemporain au sud algérien en général, et à Tamanrasset en particulier.

Le choix de la ville de Tamanrasset comme étude de cas, est dictée d'une part, par l'importance historique et économique qui la caractérise et par les mutations qu'elle est entrain, et qu'elle va subir dans le futur, ainsi que, l'important programme en logement à construire dans l'avenir. D'autre part, le fait de travailler sur un territoire peu connu par rapport au reste du pays et sur lequel, des ouvrages et travaux n'abonde pas, a suscité notre curiosité.

Les facteurs de la performance thermique seront appréhendés dans ce travail de recherche avec l'ambition d'apporter des éléments de réponses aux interrogations suivantes :

Quelles réponses architecturales pouvons-nous apporter à nos problèmes du cadre bâti du sud?
Quels sont les moyens qu'on doit utiliser ? Comment pouvons-nous intervenir ?

Un des moyens d'aborder ce problème, consiste d'une part à bénéficier des acquis scientifiques et méthodologiques des pays développés, et d'autre part, faire référence à l'habitat traditionnel, en essayant d'exploiter ce qui peut être transposé. Bennadji souligne que, "Les villes traditionnelles des zones arides offrent des espaces intérieurs et extérieurs reportés « pratique » en toute saison, en particulier, pendant la période estivale, cet effet est obtenu grâce à un filtrage subtil des facteurs climatiques". (Bennadji A, 2000)

* CDER: Centre de Développement des Energies Renouvelable

** APRUE : Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie

3- Question de recherche :

Partant de ce double volet la nécessité d'engager une réflexion sur son application s'est exigée. A cet effet, diverses questions fondamentales s'imposent

- 1- Quels sont les moyens qui assurent le confort thermique à l'intérieur des bâtiments contemporain à Tamanrasset.
- 2- Comment utiliser les potentialités architecturales, urbaines et naturelles de nos sites pour aboutir à des ambiances intérieures confortables et agréables à vivre.

4- Hypothèse de l'étude :

Un confort minimal peut être réalisé, relativement à l'habitat contemporain, tenant compte de:

- L'exploitation des données climatiques qui déterminent à la fois, les exigences du confort et les recommandations architecturales.
- Et en procédant à une conception intégrée au climat par, la définition des paramètres passifs influençant le confort thermique.
- La résistance thermique de l'enveloppe doit être aussi élevée que possible grâce aux caractéristiques géométriques et thermiques du système constructif et des matériaux de construction.

5- Objectif de recherche :

Par ailleurs, l'objectif général de ce travail vise, à mettre en évidence les qualités d'un habitat et des techniques passives adapté à une région du sud à climat chaud et aride qui est Tamanrasset. Comment réduire la consommation massive des énergies non renouvelable dans les nouveaux projets, ainsi que l'utilisation abusive de la climatisation artificielle, émettrices de gaz à effet de serre, qui augmente la pollution, abaisse la qualité environnementale et climatique.

Ainsi, il serait opportun de mettre en exergue d'autres objectifs secondaires :

- * Analyse de la performance thermique du type d'habitat qui est majoritaire à Tamanrasset, pour déduire les problèmes qui s'opposent à son adaptation climatique.
- * Analyse de la performance thermique de l'habitat traditionnel, pour déterminer son degré d'adaptation climatique, ainsi que, les dispositifs qui interviennent à cette adaptation.

Il faut souligner que la réalisation d'ambiances intérieures confortables ne se limiterait pas à copier la maison traditionnelle, ou à appliquer des solutions architecturales venues

d'ailleurs et souvent inadaptées. Mais, elle consiste plutôt à réunir des techniques anciennes et novatrices.

6- Méthodologie :

L'objectif à poursuivre revient dès lors, à chercher une adéquation entre la conception et la construction de l'habitat, le climat et l'environnement dans lequel il s'implante, ainsi que l'habitant et ses rythmes de vie.

Pour arriver à un résultat et concrétiser les objectifs de ce travail, notre méthodologie d'approche s'élabore selon les processus d'étude suivant :

La forme qui prend notre travail découle de cette option méthodologique qui se base sur la technique de recherche qui ne peut isoler l'approche théorique de l'approche analytique où pratique

Par conséquent, pour mener à bien cette tâche, nous avons suivi plusieurs démarches et exploité de multiples moyens et sources. D'abord on élaboré un travail de documentation qui se rapporte aux trois éléments qui sont l'homme, l'architecture et le climat. L'exploitation de cette recherche documentaire a permis d'approfondir la compréhension du sujet, de cadrer l'étude et de fonder la démarche. En plus des ouvrages et des thèses, des documents officiels ont été consultés auprès de diverses administrations, ce qui nous a permis de faire la collecte des données nécessaires pour établir notre approche analytique (différents plans, détails des éléments constructifs, données climatiques, relevés, etc.)

L'information documentaire est certes riche et précieuse, mais ne peut en aucun cas remplacer le travail de terrain, car un grand nombre de données ne peuvent être recueillis que sur le terrain, ce qui nous permet par la suite de formuler nos jugements.

Plusieurs techniques du travail sur le terrain ont été plus ou moins exploitées selon des règles et des niveaux permettant la constitution d'un assemblage d'idées et d'informations relatives aux questions posées.

Dans cette perspective, deux investigations ont été adoptées :

La première s'est basée sur l'acquisition des données par des campagnes de mesure de température et d'humidité relative à l'intérieur des logements échantillons, les outils utilisés sont des thermographes et hygromètres.

La deuxième consiste en un montage expérimental dans un laboratoire, dans le but de déterminer les caractéristiques thermo physiques des matériaux de construction employés dans les maisons échantillons.

Enfin, pour plus de rigueur scientifique de la démarche, le recours à l'outil informatique s'impose, une simulation en vue d'évaluer et d'améliorer la performance thermique des constructions contemporaines a été à l'aide d'un programme de calcul des températures intérieures.

Les informations recueillis et les résultats obtenus traduisent en fait la réalité et permettent de dégager l'ensemble des configurations pour l'amélioration.

7- Structure de la thèse :

Ce travail de recherche s'articule autour de trois parties, une partie théorique, une partie analytique et une partie pratique ou expérimentale qui a permis la vérification de l'hypothèse de l'étude.

Approche théorique objet de la première partie:

Elle s'élabore sous forme d'une étude théorique qui nous permet d'acquérir des connaissances générales se rapportant au :

- * Lois du confort thermique et les données universelles relative au confort humain, qui sont quasi indispensables à la maîtrise des ambiances, car elles nous permettent d'assimiler tous les mécanismes de transfert entre l'utilisateur et l'ambiance.
- * Comportement et fonctionnement thermique du bâtiment, ainsi que l'influence des paramètres de conception et de construction du bâtiment des régions chaudes et arides; dans ce cas, c'est surtout la stratégie de protection de la chaleur qu'il faudra adopter.
- * Déterminer les critères d'adaptation climatiques et les qualités thermiques de l'architecture traditionnelle, c'est-à-dire, l'approche bioclimatique de l'habitat traditionnel.

Dans la deuxième partie, on développera une approche analytique qui débutera par, un aperçu historique sur les différents processus de développement urbain de la ville de Tamanrasset, l'évolution de son habitat, ainsi que, la typologie de la maison.

Ensuite une définition du type d'habitat qui fait l'objet de l'étude.

Il sera procédé à l'examen du type d'habitat étudié et à l'identification de ses spécificités. Cette identification se fera suivant plusieurs niveaux du macro vers le micro.

L'analyse des données climatiques permet d'une part de définir le type de climat qui règne dans la région, et d'autre part nous permet d'établir ses effets et son impact sur le confort de l'être humain.

A cet effet, une bonne connaissance du climat et de ses composantes offre, la possibilité d'une utilisation judicieuse de celle-ci, au profit de l'homme et appelle en même temps à une

protection contre les effets indésirables qui en découlent, et à l'exploitation des conditions avantageuses.

On procédera donc à une analyse détaillée des différents éléments du climat de la région de Tamanrasset, qui par la suite seront la base de l'analyse bioclimatique, cette dernière permet le développement des diagrammes de confort et les lois générales, qui régissent l'influence que telle ou telle caractéristiques, va avoir sur la performance de l'objet architectural lorsqu'il sera réalisé.

Dans le dernier chapitre de cette partie, on développera le facteur énergie, son importance dans l'économie du pays, ainsi que, les causes de l'augmentation de la consommation énergétique.

La troisième partie qui englobe trois chapitres, consiste en une approche expérimentale. Cette analyse quantitative nous permet d'évaluer l'impact du climat sur les constructions échantillon, par l'interprétation des résultats obtenus grâce à la méthode expérimentale, qui se base sur :

* Une étude comparative qui comporte une acquisition de données par des campagnes de mesures "in situ".

Dans ce cas, à l'aide d'un thermographe et d'un hygrographe, des séries de mesures de la température et l'humidité relative seront effectués, pendant le mois le plus chaud et le mois le plus froid, à l'intérieur d'une maison traditionnelle et d'un logement contemporain. Cette investigation a pour but de déterminer les facteurs prépondérants pouvant avoir des effets sur la situation de confort thermique.

* Mesure des caractéristiques thermo physiques des matériaux de construction utilisés dans les deux types de logements testés, afin de déterminer leurs degré de transmission de la chaleur, et enfin leur influence sur le confort thermique, car les matériaux en tant qu'enveloppe du bâtiment, créent une barrière entre l'intérieur et l'extérieur et modifient les échanges thermiques par le biais de leurs propriétés (conductivité et diffusivité thermique).

* L'objet du dernier chapitre sera une :

- Analyse des interventions les plus performantes en vue d'améliorer la performance thermique des constructions contemporaines et ainsi, assurer les conditions de confort thermique.

Cette autre évaluation sera faite grâce à l'application d'un modèle de simulation, les habitations déjà expérimentées seront analysées à l'aide d'un programme, qui tient compte des paramètres climatiques de la zone étudiée (Tamanrasset), ainsi que les caractéristiques du cadre bâti.

L'analyse thermique par simulation se fera dans une perspective d'évaluation de la performance thermique des logements étudiés. Elle permettra de dégager l'ensemble des configurations offrant des conditions de confort thermique les plus favorables à l'intérieur des constructions, et la possibilité de leur amélioration.

La synthèse des résultats du travail, se fera au sein d'une conclusion qui précisera les éléments architecturaux et environnementaux intervenant dans l'intégration des constructions au climat. Et enfin des recommandations pour améliorer les conditions de confort thermique à l'intérieur des constructions contemporaines.

Une annexe représente quelques données se rapportant au sujet.

Partie 1

APPROCHE THEORIQUE

Introduction

La présente partie définit le cadre théorique relatif à l'axe bioclimatique, que nous considérons comme étant le vif du sujet de notre recherche. Le contenu nous est un outil d'appréciation scientifique, qui constituera un support fiable, et aidera à l'élaboration des différents chapitres.

Rappelons que le thème principal de la présente recherche traite de, la relation entre le climat, l'architecture et l'homme. La mise en évidence de l'influence d'un élément sur l'autre ne peut se faire sans un minimum de connaissances, des phénomènes relatifs aux exigences humaines en matière de confort thermique, et au comportement thermique des structures et des matériaux de construction, sous les effets des facteurs climatiques. Ces derniers, ont connu un changement remarquable au cours du siècle dernier.

En effet, depuis quelques décennies, un certain nombre d'indicateurs et d'études montrent que le climat se réchauffe à l'échelle du globe. De part son actualité, l'ampleur et la diversité des conséquences sur l'humanité, le premier chapitre tente de connaître les causes de ce changement climatique, et les effets néfastes sur la nature et l'homme. Des preuves plus solides indiquent que, le réchauffement de la planète est attribué aux activités humaines massivement émettrices en gaz à effet de serre.

Le deuxième chapitre nous permet de comprendre, les lois du confort thermique. C'est donc, assimiler tous les mécanismes de transfert entre l'usager et l'ambiance (ou enceinte) ; même si le corps humain possède une grande capacité d'adaptation vis-à-vis des variations climatiques, il existe des niveaux de tolérance propres au confort humain définis par les scientifiques, et que tout architecte devrait les prendre en considération dans la conception des ambiances intérieures.

Le troisième chapitre considère le degré d'influence de l'enveloppe sur l'ambiance. Cette influence est due, aux propriétés thermo physiques des matériaux, qui affectent le bilan des échanges de chaleur entre l'extérieur et l'intérieur du bâtiment, et à la fonction de captation et d'échange de l'enveloppe ainsi que des éléments de structure. Des outils d'évaluation thermique

du bâtiment sont présentés. Ces notions serviront ultérieurement dans le cadre de l'analyse thermique du cas d'étude.

Le quatrième chapitre de cette partie, traite les différentes stratégies bioclimatiques qu'il faudrait adopter pour améliorer les conditions de vie. Ces stratégies, se rapportent essentiellement à la protection contre la chaleur, et aux moyens de refroidissements.

La mise en évidence de l'approche bioclimatique de l'habitat traditionnel dans le monde, en particulier dans les pays du moyen orient et du Maghreb, a été considérée comme une référence particulière, car dans le monde entier, les traditions de la construction vernaculaire expriment une adaptation thermique particulièrement sophistiquées. Les bâtisseurs premiers utilisaient avec efficacité des processus de stratégies finement hiérarchisé, allant de la forme urbaine jusqu'aux matériaux et aux détails constructifs, tel est le but du cinquième chapitre.

Enfin, malgré l'abandon du savoir ancestral, les enseignements de l'architecture vernaculaire n'ont pas cessé d'émerveiller les architectes, en quête de solution aux problèmes causés par une négligence des données environnementales, et en particulier les données climatiques dans la conception architecturale et urbaine.

Plusieurs études ont été effectuées dans ce sens, notamment, dans les régions arides et chaudes. Des formes d'habitat vernaculaire ont été analysées, et les principes conceptuels bioclimatiques qui leurs sont inhérents, furent mis en évidence puis réinterprétés dans des projets contemporains, ce qui est montré dans les exemples cités dans cette partie

Chapitre I: CHANGEMENT CLIMATIQUE : **MENACE PESANT SUR L'HUMANITE**

Introduction

Un changement climatique, correspond à une modification durable des paramètres statistiques du climat global de la terre ou de ses divers climats régionaux. "Il est la plus grande menace pesant sur l'humanité, qui se verra confrontée à des événements climatiques extrêmes, à de grandes sécheresses et à la propagation des maladies sur plusieurs parties du globe dans les décennies à venir". (UNESCO, 2006)

Les chercheurs du groupe d'expert intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), groupe issu de l'organisation météorologique mondial (OMM), indiquent que la température globale de surface a déjà augmenté d'environ 0,6°C au cours du 20^e siècle (figure I-1). Cela est dû aux activités humaines. Celles-ci ont conduit à l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre, qui atteint aujourd'hui, son plus haut niveau depuis d'un million d'années. Les températures ont augmentées ces quarante dernières années dans les huit premiers kilomètres de l'atmosphère. La couverture neigeuse et les étendues glaciaires se sont réduites. Le niveau de la mer s'est élevé de 10 à 20cm au cours du 20^{ème} siècle. La charge thermique des océans s'est accrue depuis la fin des années cinquante. Le GIEC prévoit aussi que la température moyenne mondiale aura augmentée de 1,4 à 5,8°C d'ici 2100. Cette augmentation affecte de plus en plus les personnes et leur environnement. (UNESCO, 2006)

Prenant acte de la réalité du réchauffement climatique dans les années quatre vingt dix, et de la responsabilité humaine dans ces dérèglements, les dirigeants politiques ont initié une politique de lutte contre le réchauffement de la planète. Le protocole de Kyoto, qui est entré en vigueur en février 2005 est l'exemple le plus actuel d'une stratégie de réduction des gaz à effet de serre. En décembre 2011, une réunion s'est tenue en Afrique du sud, le résultat en est de poursuivre les accords de Kyoto jusqu'à 2013.

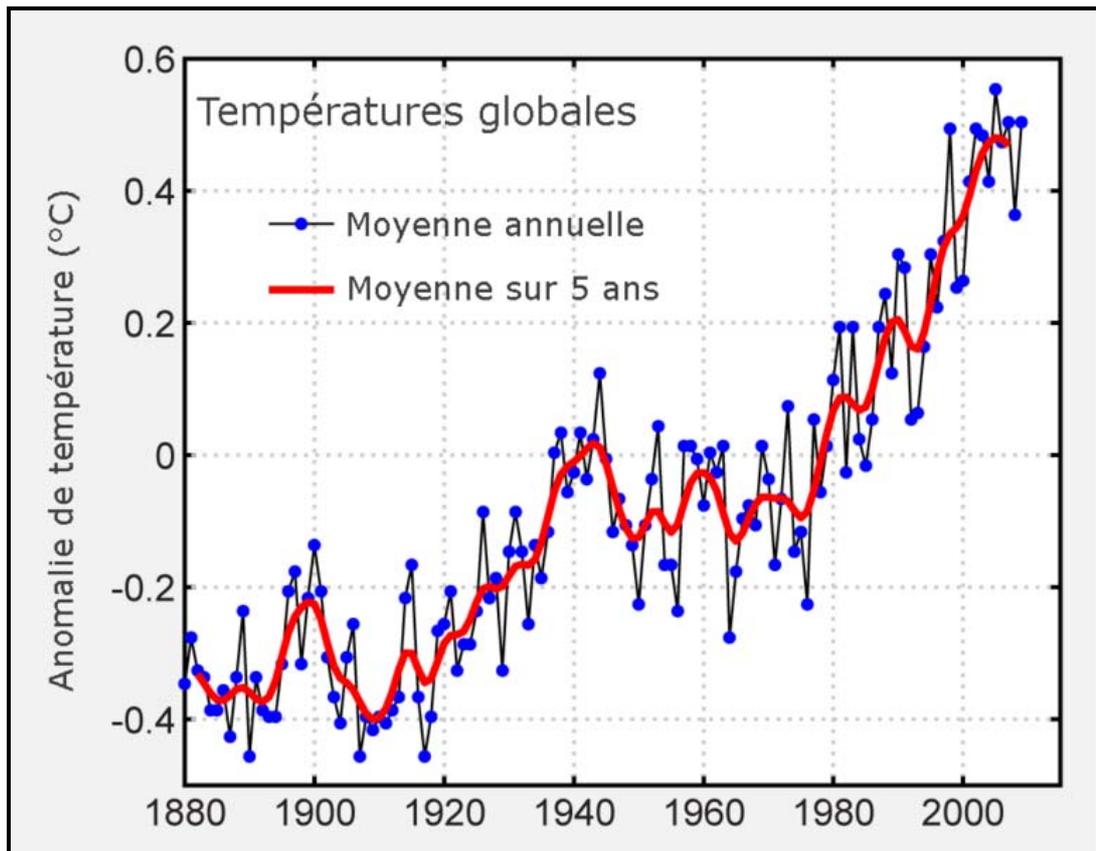


Figure I-1: augmentation de la température du globe

Source: Liébard A. et al. 2005

I-1 Causes du changement climatique :

Les scientifiques s'accordent aujourd'hui pour affirmer la prépondérance du rôle des activités humaines dans le changement climatique et pour voir dans l'effet de serre le principal mécanisme conduisant au réchauffement de la planète.

Les principales sources de gaz à effet de serre selon (GIEC).

- Le gaz carbonique (CO₂) fossiles (pétrole, gaz, charbon) signifie que, nous brûlons du carbone qui émet du CO₂ dans l'atmosphère, dont la concentration ne cesse de croître (0,028% il y a cinquante ans, actuellement elle est de l'ordre de 0,0365%).

- Le méthane (CH₄) qui est un autre gaz à effet de serre, dont la concentration a doublé depuis la révolution industrielle.

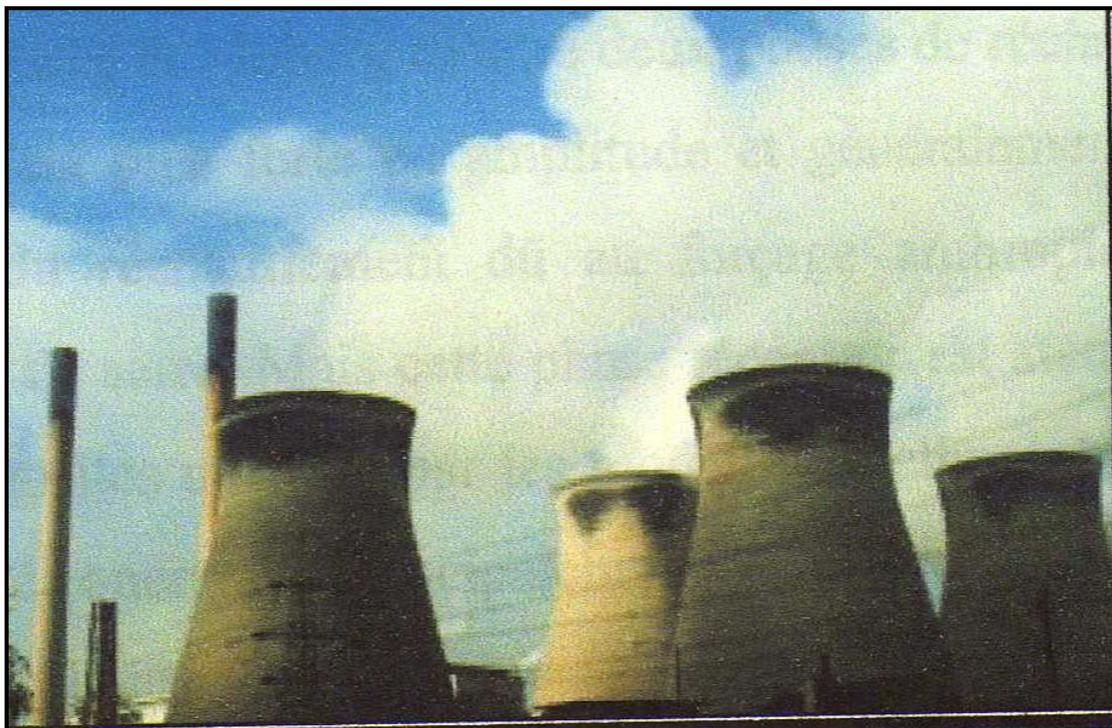


Figure I-2: Gaz à effet de serre.

Source: www.freefoto.com

Il y a d'autres gaz tels que le monoxyde de carbone (CO), l'oxyde d'azote (N₂O), et des gaz fluorés (CFC, HCFC, PFC et HF6) d'après le rapport de l'environnement du territoire français, 2007. Ainsi, la vapeur d'eau, le méthane, le dioxyde de carbone et le protoxyde d'azote, sont les principaux gaz à effet de serre ; ils contribuent à piéger l'énergie renvoyée, qui augmente ainsi la température moyenne de la terre.

I-2 L'effet de serre local et la température de l'air :

Les effets de l'urbanisation se traduisent par, l'apparition de températures plus élevées, au centre des agglomérations que dans la campagne environnante. La modification du bilan énergétique est due à, l'imperméabilité du sol qui freine l'évaporation (ce qui laisse plus de chaleur pour réchauffer l'air) et surtout à la consommation d'énergie propre à la ville, dite "énergie

atmosphérique". Plus important en hiver à cause du chauffage et de l'éclairage des bâtiments, l'énergie anthropique et aussi causée par la circulation automobile et par l'industrie.

Le stockage de chaleur dans les gros œuvres des bâtiments (inertie thermique) retarde l'heure de restitution (effet de déphasage) et réduit l'amplitude des températures (effet dit d'amortissement). L'échauffement résulte de trois phases successives :

- les bâtiments transforment le rayonnement solaire (lumière) en rayonnement de grande longueur d'onde (chaleur).
- les radiations infrarouges sont piégées par la configuration des surfaces : l'échange avec la voûte céleste est réduit.
- l'effet de serre, dû à la pollution atmosphérique (poussières en suspension), se traduit par une élévation de la température de l'air ; une couche de l'atmosphère, dilatée, forme un dôme de chaleur au-dessus de la ville, "appelé îlot de chaleur urbain". (ICU)

Au sein d'une conurbation, l'écart thermique entre la grande banlieue et le centre-ville est toujours positif. L'écart maximal, qui croît avec la population de la ville, se produit la nuit en hiver (chaleur dégagée par les activités humaines) et en été (stockage de la chaleur dans les bâtiments).

En effet, Les revêtements imperméables et les matériaux des bâtiments influencent le microclimat et les conditions de confort thermique. De fait, ils peuvent absorber beaucoup de chaleur (en été, la température de certains d'entre eux peut s'élever jusqu'à 80 °C!), chaleur qu'ils rediffusent à l'atmosphère pendant la nuit, contribuant ainsi à l'effet d'îlot thermique urbain. (www.monclimatmasante.qc.ca/%C3%AEIlots-de-chaleur.aspx)

L'îlot de chaleur est d'autant plus accentué que la densité est plus élevée, que le sol est plus imperméabilisé, qu'il y a moins d'espaces verts.

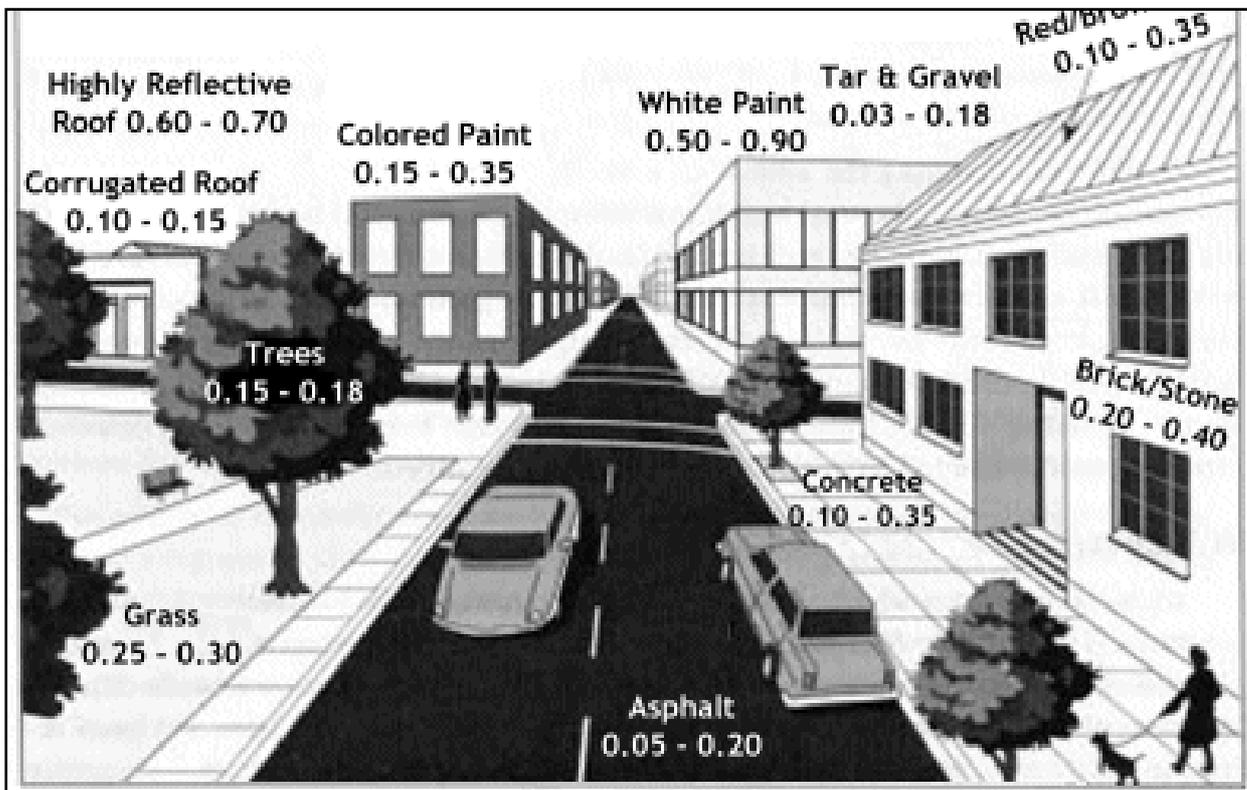


Figure I-3 : Variation de l'albédo dans l'environnement urbain

Source : (www.ghcc.msfc.nasa.gov)

L'urbanisme très minéral de nos villes contemporaines, avec ses larges avenues, ses grandes baies vitrées, ses rues asphaltées et une maigre végétation, accumule la chaleur tout au long de la journée. Dans les grandes villes, la température est donc supérieure de plusieurs degrés à celle de la campagne environnante (figure I-2).

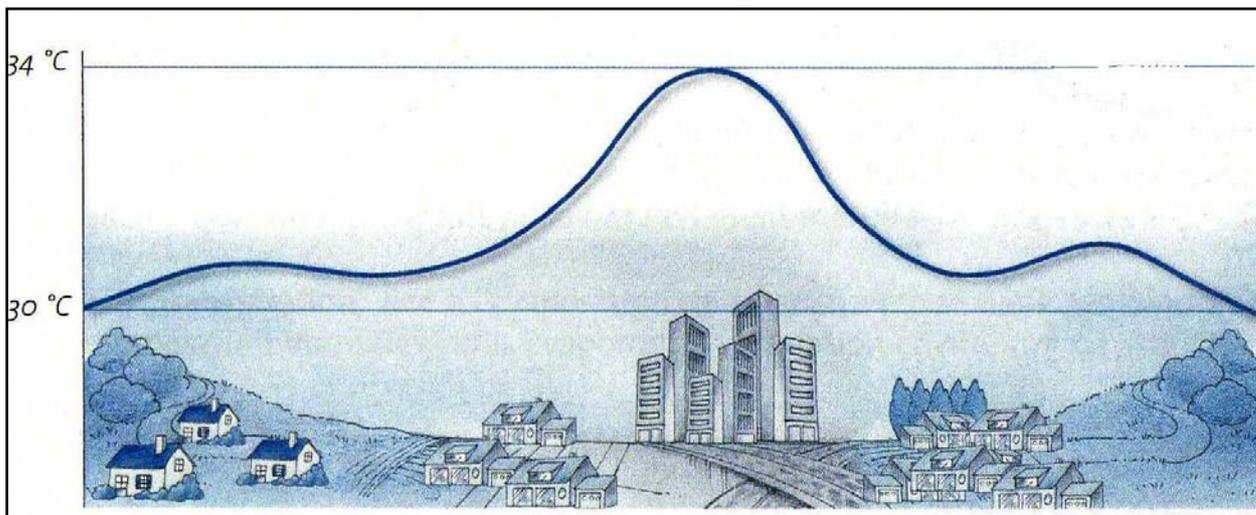


Figure I-4 : la température des grandes villes est supérieure à celle de la campagne

Source : Salomon Th. et al. 2006

L'activité renforce encore la chaleur ambiante, ainsi les groupes de climatisation rejettent dans l'air extérieur la chaleur extraite des habitations ou des administrations, contribuant à augmenter la température des ilots urbains.

Enfin, la circulation automobile vient aggraver fortement la surchauffe des logements de nos grandes villes.

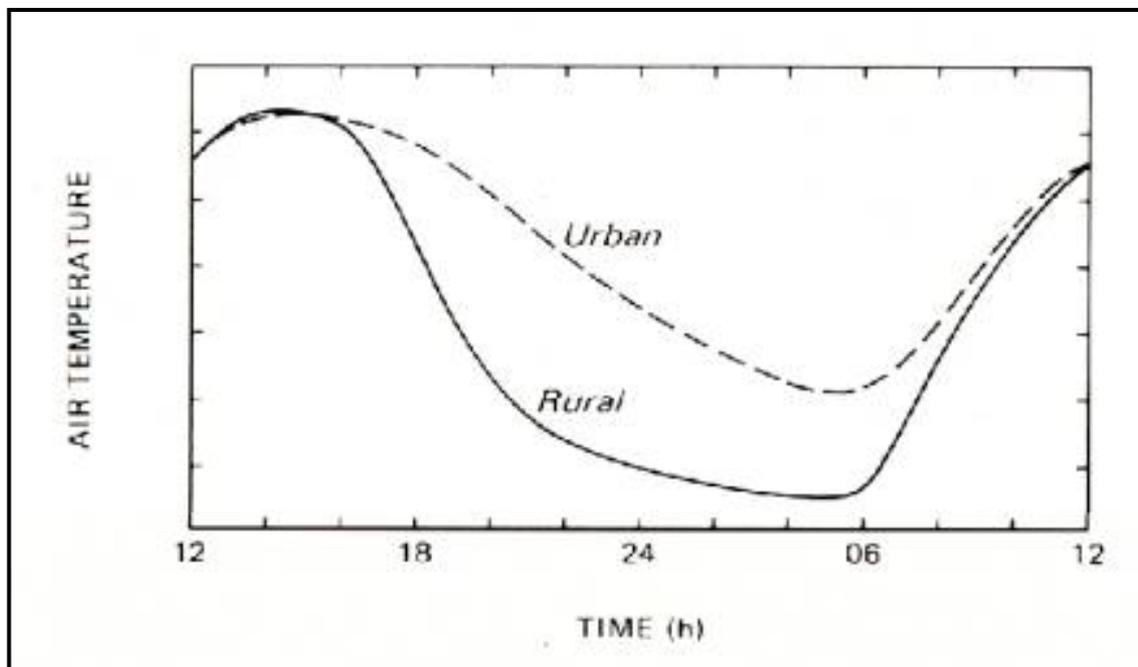


Figure I-5 : L'activité humaine renforce la chaleur ambiante

Source : www.ilot.de.chaleur.com

I-3 Climatisation, impacts sur l'énergie et sur l'environnement :

Le marché mondial de la climatisation est en pleine explosion. De la maison à la voiture, de la voiture au bureau, nous nous habituons à vivre en permanence dans une atmosphère climatisée. Cette banalisation est-elle vraiment un progrès ? Les émissions de CO₂ du secteur du bâtiment, proviennent principalement de l'énergie utilisée pour le chauffage des locaux, de la production d'eau chaude et de la climatisation (figure I-3). Cette dernière contribue également, aux émissions des gaz à effet de serre et à la pollution de l'environnement. Le recours aux énergies renouvelables est plus qu'une nécessité, ainsi que, les systèmes de chauffage et de refroidissement passif. Les actions ayant trait à la récupération des gaz frigorigènes sont à renforcer, tant pour les réfrigérateurs domestiques que pour les chaînes du froid dans les grandes distributions. Enfin, la sensibilisation et l'information seront généralement déterminantes.

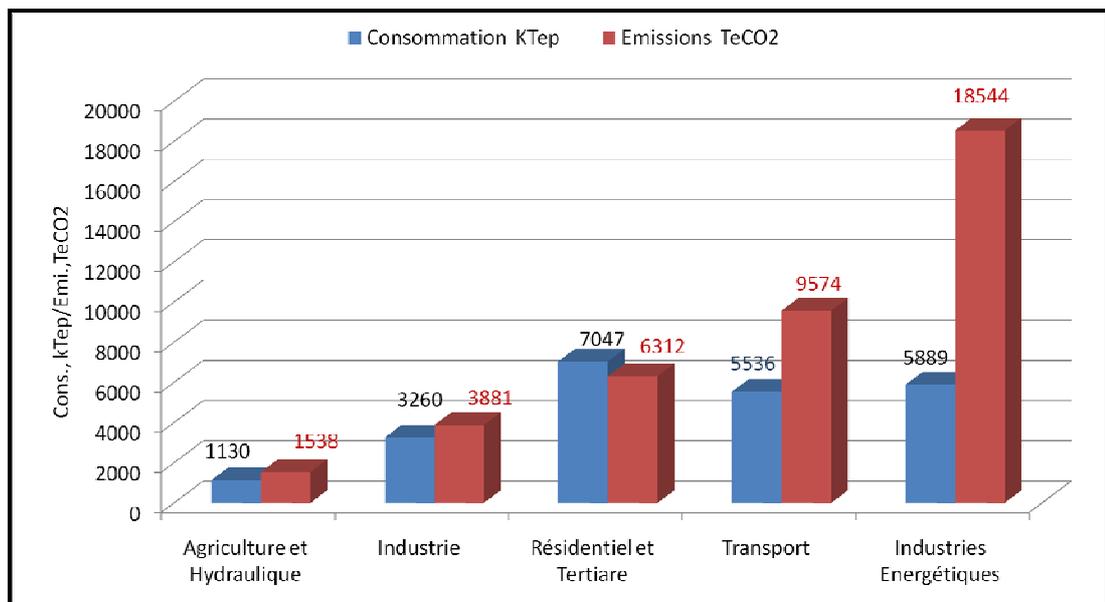


Figure I-6 : consommation énergétique et émission de CO₂ des différents secteurs

Source: CDER* 2012

* CDER : centre de développement des énergies renouvelable

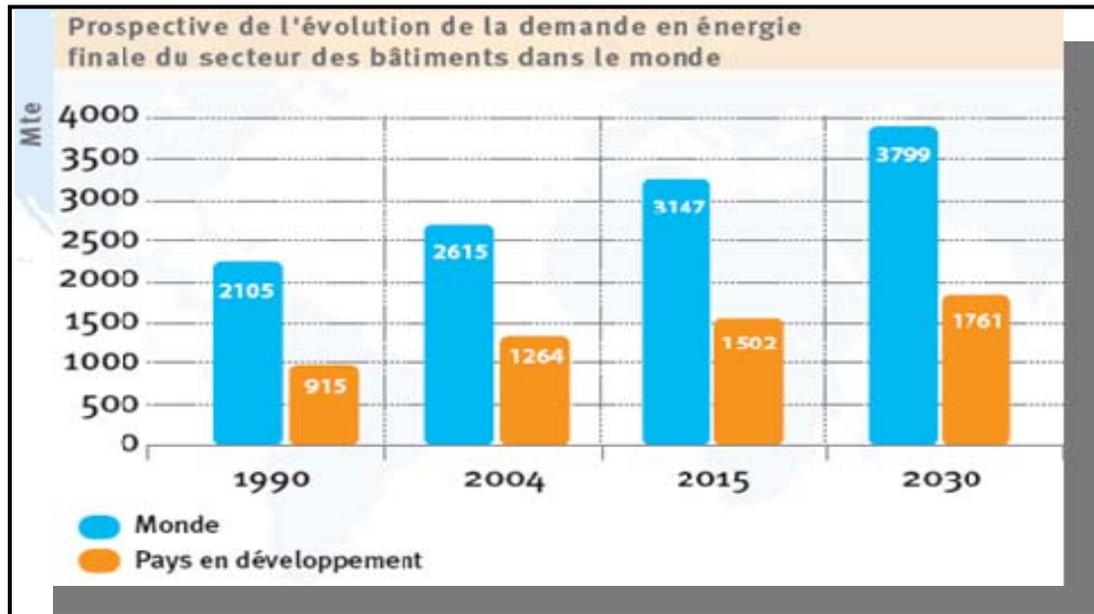


Figure I-7 : demande en énergie dans le secteur du bâtiment

Source: CDER 2012

I-4 Une climatisation, dix impacts sur l'environnement :

La généralisation de la climatisation de nos logements et bâtiments a de multiples impacts sur notre environnement :

1- Sur la **qualité de l'air** extérieur, où la dissémination des bactéries Legionella par les centrales de climatisation pose de très graves problèmes sanitaires. De même à l'intérieur de nos logements, où un mauvais réglage de température, le manque de renouvellement d'air ou un entretien médiocre peuvent accroître les risques sur la santé.

2- Sur le niveau de **bruit**, surtout en milieu urbain : un ventilateur usagé, les vibrations d'un compresseur peuvent s'avérer insupportables pour ceux qui souhaitent profiter fenêtre ouverte de la fraîcheur nocturne.

3- Sur l'**effet de serre**, en raison des pertes inévitables de réfrigérant : les fluides actuels, même prétendus "verts" par les fabricants, ont un considérable pouvoir de réchauffement climatique.

4- Sur la **couche protectrice d'ozone** stratosphérique : cet impact est heureusement limité par l'emploi de nouveaux liquides frigorigènes, mais les anciens fluides n'ont pas encore été totalement éliminés et leurs effets se prolongeront encore, comme avec le fréon, sur une centaine d'années.

5- Sur l'**esthétique** des bâtiments avec les appareils de fenêtres, toujours disgracieux. Mais ce n'est pas tout : la climatisation par compression a de multiples impacts indirects. La surconsommation d'énergie électrique correspondante induit en effet un impact environnemental qu'il faut aussi prendre en compte (figure I-4).

6- Emissions de **gaz à effet de serre** (CO₂, NO_x) par les centrales thermiques.

7- Emissions de **polluants** (NO₂, SO₂) par ces mêmes centrales.

8- Génération de **déchets radioactifs** par les centrales nucléaires, sans compter les autres problèmes liés à cette source d'énergie (prolifération, risques accidentels).

9- Surconsommation de **ressources fossiles** (charbon, gaz, pétrole, uranium) dont les réserves sont limitées.

10- Augmentation des **appels de puissances électrique** lors des jours les plus chauds, ce qui fragilise le réseau électrique et impose la création de centrales supplémentaire.

I-5 Canicule et pollution, un redoutable cocktail :

Les pics de pollution à l'ozone interviennent toujours lorsque la température est élevée. L'organisme est alors doublement agressé : par la chaleur elle-même, et par une teneur de l'air en ozone anormalement élevée. De nombreuses mesures et analyses ont mis en évidence de manière incontestable ces dernières années, deux faits inquiétants sur la qualité de l'air que nous respirons dans nos bâtiments :

- l'air intérieur est presque toujours plus pollué que l'air extérieur. On trouve en effet, tous les polluants de ce dernier, souvent à des concentrations supérieures à celles rencontrées dehors, mais aussi un grand nombre de polluants spécifiques : substances chimiques (formaldéhyde, solvants, pesticides) et polluants biologiques (moisissures, acariens, bactéries).

- la concentration de polluants dans l'air intérieur augmente avec la température. La chaleur favorise en effet, non seulement la multiplication des acariens, des bactéries et des moisissures, mais aussi l'émission des substances chimiques contenues dans les matériaux de construction, dans les produits de traitement du bois, dans les peintures et dans très nombreux produits d'entretien et de bricolage que nous utilisons quotidiennement. Par exemple, les émissions de formaldéhyde (polluant chimique omniprésent dans l'air intérieur) sont multipliées par deux lorsque la température augmente de 5°C. Or, à partir d'une certaine concentration, ce polluant provoque d'importantes difficultés respiratoires. (Salomon, T. et al 2006)

I-6 Les canicules de demain :

Le réchauffement climatique n'est plus une spéculation scientifique :

Tous les experts du GIES (Groupement international d'Experts sur le climat), sur la base d'une procédure collective exemplaire de validation scientifique de leurs travaux, s'accordent pour dire qu'un réchauffement du climat est inéluctable dans les prochaines années. Il est déjà trop tard pour l'éviter, car les gaz à effet de serre responsables sont déjà émis dans l'atmosphère, et nous n'avons aucun moyen de les récupérer ou de les neutraliser!

Les valeurs annoncées ne doivent pas faire illusion : derrière les moyennes se cachent des valeurs plus extrêmes ou des modifications profondes des grands équilibres climatiques, dont la période caniculaire de 2003 est vraisemblablement un signe avant-coureur.

Généraliser la climatisation des locaux et des véhicules alors que les procédés de climatisation ont un impact direct sur l'accroissement du changement climatique n'est évidemment pas une solution de bon sens : elle revient à donner un médicament soulageant localement.

Avant de rechercher à diminuer la chaleur en produisant du froid, il faut adopter une stratégie simple et de bon sens ; Ne pas laisser le rayonnement solaire ou la chaleur entrer, diminuer les sources des chaleurs intérieures, profiter de la fraîcheur nocturne, redécouvrir des systèmes simples de rafraîchissement naturel, adapter enfin notre corps et notre mode de vie aux variations du climat. Vivre en bonne intelligence avec le climat, et non contre lui.

Chapitre II: CONFORT THERMIQUE ET BESOINS DES OCCUPANTS

Introduction

Entre sa vie professionnelle et sa vie privée, l'homme moderne et urbanisé ne passe pas, en moyenne, plus de dix minutes par jour à l'air libre. Pour offrir un confort de vie acceptable aux individus qui passent leur vie dans un espace clos où règne une ambiance confinée, celle-ci doit être au minimum renouvelée, ou mieux, conditionnée.

Hippocrate, le père de la médecine occidentale, disait que pour pouvoir effectuer un diagnostic correct, il fallait connaître à fond l'homme : ce qu'il mange, où il vit, comment il se comporte.

La sensation de confort thermique est tout ce qui constitue le bien être d'un individu en rapport avec la chaleur. Elle est le résultat de l'interaction entre l'individu et son environnement. L'étude du confort thermique présentée ci-après tente d'évaluer les sensations de confort en fonction des tenues vestimentaires et des activités des individus d'une part et, d'autre part, suivant les caractéristiques de l'ambiance dans laquelle se trouve la personne considérée (température, humidité, etc.).

La notion de confort dépend de sept paramètres, dont trois sont relatifs à l'individu: le métabolisme, l'habillement et la température du corps. Les quatre autres concernent l'ambiance dans laquelle l'occupant vit; à savoir, la température ambiante, l'humidité relative, les températures des parois et la vitesse de l'air.

L'intérêt de ce chapitre est de montrer que, dans une maison, on peut diversifier les ambiances dans les espaces suivant les activités quotidiennes qui s'y déroulent. Subir une variété de sensation de confort rapproche d'ailleurs les hommes d'une vie plus naturelle.

II-1 La conscience du bien être :

On assiste depuis quelque temps à l'essor d'une discipline, appelée médecine de l'habitat, selon laquelle le type d'habitation, les matériaux qui la composent, la décoration, l'éclairage, les couleurs, les sons et, surtout, les habitudes domestiques exercent une profonde influence sur notre développement et sur notre santé.

Le concept de santé a changé, et l'homme est considéré non pas comme un ensemble de parties séparées, mais dans sa globalité : santé ne veut pas dire absence de maladie, mais état de bien-être du corps et de l'esprit, éléments indispensables de notre être. Le secret consiste par conséquent à faire en sorte que les composantes environnementales favorisent, ou du moins ne s'opposent pas à une amélioration.

Diverses sciences (médecine, géobiologie, études sur l'effet des champs électromagnétiques) ont tiré la sonnette d'alarme quant à nos logements. L'intérêt porté à l'environnement se traduit en termes concrets par la manière d'appréhender le milieu ambiant, de le vouloir sain, de l'envisager comme un auxiliaire vital. Comme l'affirment certaines disciplines orientales, le bien et le mal n'existent pas dans l'absolu : il y a seulement des choses ou des événements qui, à un moment donné, sont positifs ou négatifs, à nous de les transformer.

II-2 Thermique du corps humain :

L'activité métabolique consiste à transformer la nourriture consommée en constituants du corps (protéines, tissus) et en énergie. Cette transformation produit aussi de l'eau, du gaz carbonique et des déchets divers. (figure I-5)

L'énergie ainsi produite nous permet de travailler (au sens physique du terme, donc à nous mouvoir, à tirer et à pousser des objets) et de maintenir la température interne de notre corps à 37°C, pour que les réactions biochimiques nécessaires puissent se faire dans de bonnes conditions.

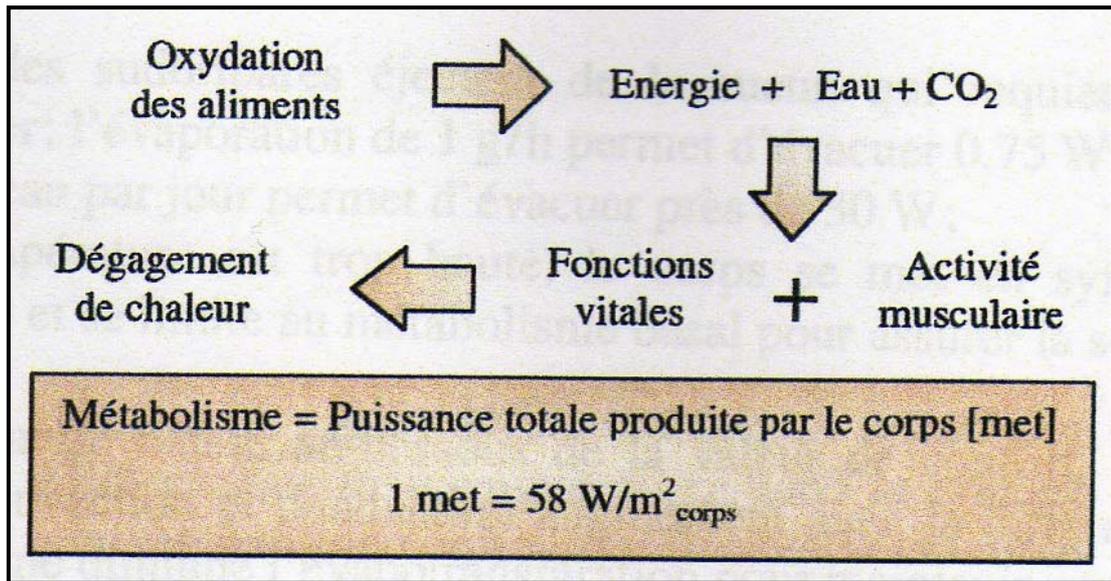


Figure I-8 : représentation schématique du métabolisme humain

Source: Roulet C.A. 2004

Le corps est homéotherme : il tend à maintenir une température constante. Pour cela, il faut impérativement éliminer la chaleur produite dans le corps. Cette élimination se fait au travers de la peau et par la respiration. La chaleur dégagée par le métabolisme, plus ou moins grande selon l'activité, est éliminée, directement ou au travers des habits, par convection et conduction vers l'air ambiant, par rayonnement vers les surfaces voisines et par évaporation dans l'air. On notera que dans la zone confortable, les échanges par rayonnement, convection-conduction et évapotranspiration, se répartissent en trois parts approximativement égales :

- L'homme dispose de deux capteurs pour réguler sa température interne ;
- l'hypothalamus déclenche les fonctions de rafraîchissement du corps lorsque la température interne dépasse 37°C ;
- les capteurs sensoriels de la peau déclenchent les fonctions de protection contre le froid lorsque la température superficielle descend en dessous de 34°C. (Roulet, C.A, 2004)

La figure suivante montre la répartition des échanges de chaleur d'une personne assise en fonction de la température ambiante, supposé homogène.

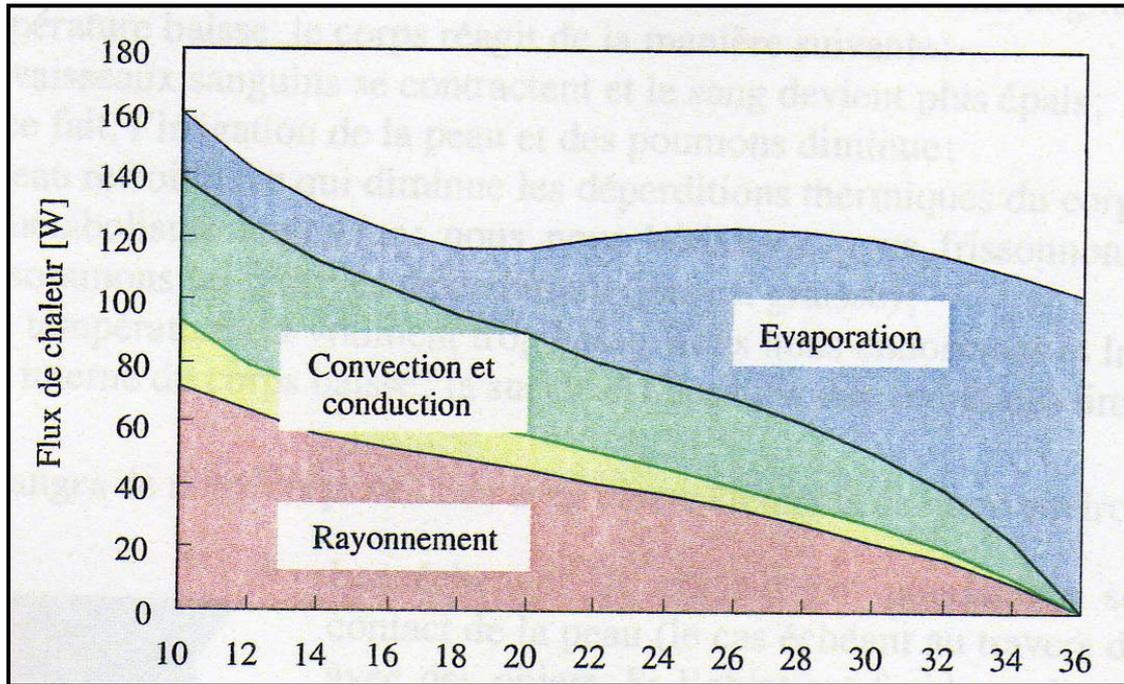


Figure I-9 : répartition des échanges de chaleur

Source: Roulet C.A. 2004

II-3 Comment le corps lutte contre la chaleur :

Lutter contre le froid est simple, car nous disposons pour y parvenir de multiples possibilités : se vêtir chaudement, avoir une alimentation adaptée, riche en calories, faire de l'exercice. L'homme peut ainsi affronter des températures extérieures beaucoup plus basses que la température du corps.

Mais lutter contre la chaleur est beaucoup plus difficile. Le premier réflexe est de réduire l'isolation procurée par nos vêtements, de s'habiller plus léger, c'est-à-dire d'augmenter les échanges par conduction, par convection et par rayonnement pour évacuer le plus possible de chaleur corporelle.

Lorsque nous sommes très vêtus et que la température extérieure atteint un niveau tel que ces échanges ne peuvent plus se produire, le corps doit prendre lui-même le relais par un mécanisme de rafraîchissement. Nous disposons pour cela d'une fonction remarquable : la transpiration. L'augmentation de la température corporelle est alors régulée par le rafraîchissement dû à l'évaporation de la sueur sur la peau.

En d'autres termes, les échanges par convection, par conduction, par rayonnement et par évaporation de la sueur permettent la dissipation de la chaleur métabolique, et déterminent en partie notre sensation de confort. Cette fonction régulatrice atteint cependant assez vite ses limites si la température extérieure continue d'augmenter, ou en cas de déshydratation. Au-delà, la température corporelle augmente avec un risque rapide d'hyperthermie.

Tableau I-1: Quantité de chaleur dissipée par une personne

Source: Salomon Th. et al. 2006

	Puissance dissipée en watts (W)	Apport de chaleur sur une journée entière (24h) en kilowattheures (kWh)
Enfant	80W	2 kWh
Adulte au repos	80W à 120W	2 à 3 kWh
Adulte avec une activité physique normale	120W à 250W	Variable selon activité

II-4 Notion de confort thermique :

Le confort est une notion essentiellement subjective. Il peut être défini de diverses manières:

- l'absence de plaintes pour inconfort ;
- une sensation de bien-être général ;
- les conditions pour lesquelles les mécanismes d'autorégulation du corps sont à un niveau minimum d'activité.

D'après la norme ISO 7730*, il y a situation de confort thermique si deux conditions sont satisfaites :

- le bilan thermique de l'individu est équilibré sans que ses mécanismes autorégulateurs ne soient trop sollicités.
- il n'existe pas d'inconforts locaux dus:
 - à la sensation de courant d'air,
 - à l'asymétrie du rayonnement,
 - au gradient vertical de température,
 - à la température du sol,

* La norme ISO 7730 : norme internationale qui détermine les conditions du confort thermique

II-5 Les règles d'or du confort thermique :

Les conditions propres à l'individu, qui sont : le métabolisme, l'activité, l'habillement et la santé, jouent un rôle primordial sur la perception que cette personne aura de son confort.

- * Conditions thermiques
 - Température de l'air et des surfaces environnantes.
 - Sources de rayonnement (radiateurs, poêles, soleil).
 - Perméabilité thermique des surfaces en contact avec le corps.

- * Qualité de l'air
 - Vitesse relative de l'air par rapport au sujet.
 - Humidité relative de l'air. (L'hygrométrie de l'air)

A titre d'exemple, quand la température de l'air est de 29°C, nous aurons trop chaud :

- si l'hygrométrie de l'air est élevée, car l'évaporation de la sueur sera ralentie,
- si l'air est immobile, pour la même raison,
- si la température des parois (murs, sol, plafond) est proche de celle de l'air, car le rayonnement du corps vers ces parois est ralenti.

Cependant, à la même température (29°C), nous pourrions nous sentir bien si l'air est sec, et mis en mouvement par une brise légère, ou si les parois sont fraîches.

L'impact de la température des parois sur la sensation de confort est généralement sous-estimé bien en été qu'en hiver. La température que nous ressentons n'est en effet pas celle de l'air, mais la moyenne entre la température de l'air et celle des parois environnantes.

Le bien-être des occupants d'un espace ne dépend pas seulement des conditions thermiques, aérauliques, visuelles et auditives. Il est certain que les paramètres suivants entrent aussi en ligne de compte :

- le volume de l'espace, proportions spatiales, formes des limites ;
- l'aménagement intérieur, mobilier ;
- la densité d'occupation de l'espace ;
- l'ambiance sociale, relation avec les autres occupants.

Certains bâtiments sont naturellement confortables, alors que d'autres nécessitent d'importantes installations pour garantir des conditions acceptables.

Dans la figure I-9, la bande verte représente la marge de température de confort, qui varie avec l'habillement, donc avec la saison.

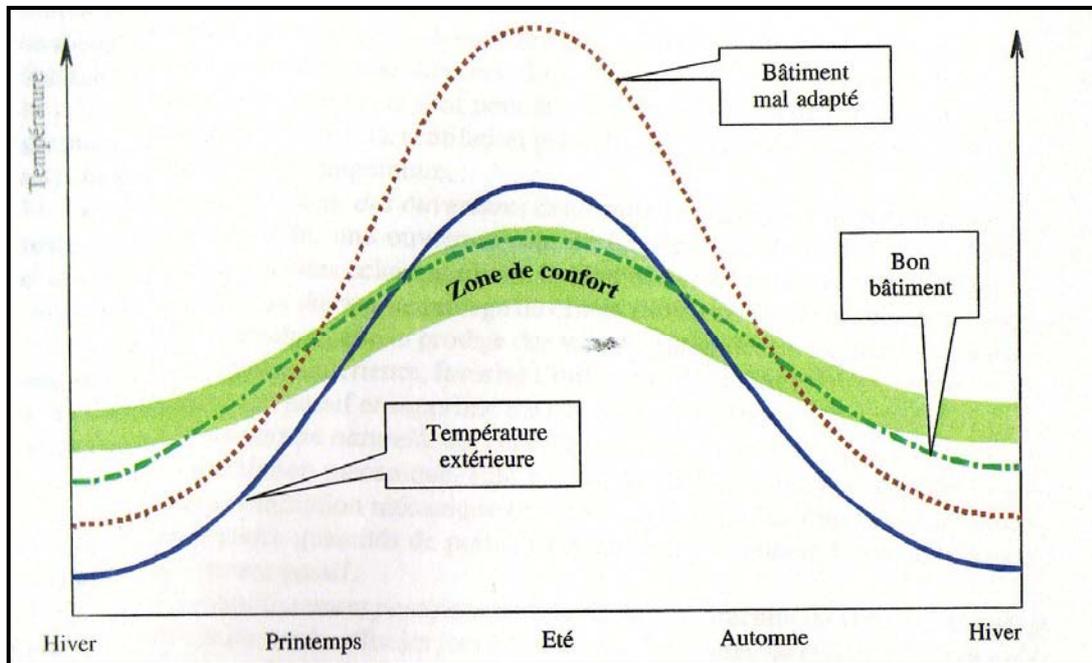


Figure I-10 : évolution des températures dans les bâtiments sans chauffage ou climatisation
 Source: Roulet C.A. 2004

Un bâtiment devrait assurer, sans aucune consommation d'énergie, un confort au moins équivalent à celui régnant à l'extérieur (Chatelet, Fernandez et al. 1998).

II-6 Mesure du confort thermique :

Il est généralement admis de quantifier la sensation de confort en utilisant l'échelle de -3 à +3 proposée par Fanger (1982) et officialisée par la norme internationale ISO 7730 (ISO 1993) :

-3 très froid	
-2 froid	insatisfait parce que trop froid
<hr/>	
-1 frais	
0 confortable	satisfait
<hr/>	
2 chaud	
3 très chaud	insatisfait parce que trop chaud

La température opérative est une moyenne pondérée de la température de l'air T_a et la température radiante T_r :

$$T_{op} = a T_a + (1 - a) T_r \quad \text{où } a = 0,5 + 0,25v$$

v: étant la vitesse de l'air.

Si cette vitesse est nulle ou négligeable, ce qui est souvent le cas lorsqu'il n'y a pas de courants d'air, la température opérative est la moyenne arithmétique de la température radiante. Si la vitesse de l'air vaut 2m/s ou plus, la température opérative est égale à la température de l'air, les surfaces environnantes n'ont plus d'effet sensible.

La figure I-8 donne la température opérative idéale, c'est-à-dire celle qui donne un PMV^* nul en fonction de l'activité et de l'habillement, et ce pour une vitesse de l'air basse (moins de 0,1m/s) et une humidité relative normale (35 à 65%).

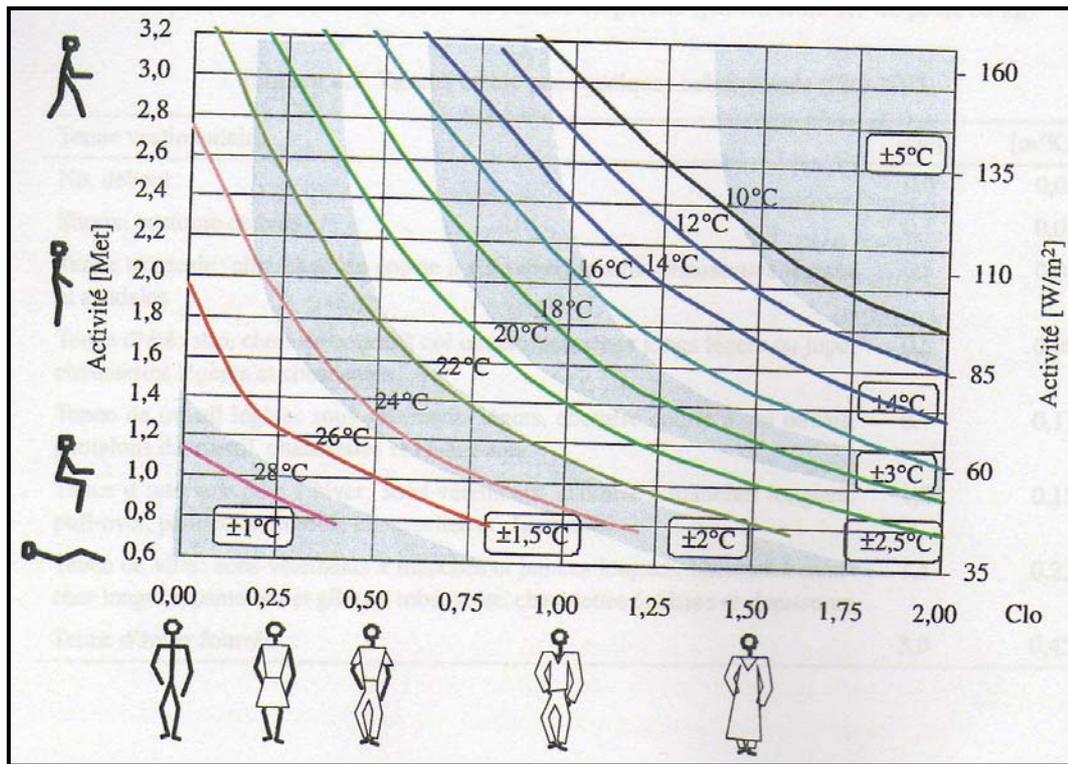


Figure I-11 : Température opérative idéale en fonction de l'habillement et du métabolisme (d'après ISO 7730)
 Source: Roulet C.A. 2004

* PMV : Predicted mean vote (le vote moyen)

Une autre méthode consiste à compter le pourcentage de personnes insatisfaites des conditions de confort. Ce pourcentage est directement lié au vote moyen d'une population donnée. On a ainsi deux paramètres permettant de mesurer le confort thermique.

* le vote moyen, appelé PMV, qui est l'appréciation moyenne d'une population dans un environnement donné, sur l'échelle de -3 à +3.

Le confort optimal correspond à un PMV nul.

* le pourcentage prévisible d'insatisfaction, appelé PPD^{**}, qui exprime la part des sujets insatisfaits dans une condition donnée.

II-6-1 Températures opératives forfaitaires :

En tenant compte de l'activité et de l'habillement usuels, on peut donner des conditions de confort thermique pour certains locaux typiques. Le tableau donne quelques exemples.

Tableau I-2 : températures opératives forfaitaires pour quelques espaces typiques (CEN, 1998).

Source : Roulet, CA 2006.

Espace	Habillement [clo]		Activité [met]	Classe de confort	Température en	
	Été	Hiver			Été	Hiver
Bureau	0,5	1,0	1,2	A (haute)	24,5 ± 0,5	22,0 ± 1,0
				B (moyenne)	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0
				C (minimum)	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0
Cafétéria restaurant	ou 0,5	1,0	1,4	A	23,5 ± 1,0	20,0 ± 1,0
				B	23,5 ± 2,0	20,0 ± 2,5
				C	23,5 ± 2,5	20,0 ± 3,5
Dépôt	0,5	1,0	1,6	A	23,0 ± 1,0	19,0 ± 1,5
				B	23,0 ± 2,0	19,0 ± 3,0
				C	23,0 ± 3,0	19,0 ± 4,0

La conséquence pratique pour les bâtiments commerciaux et les logements (où l'activité avoisine 1,1 met) est que la température opérative idéale en hiver (habillement de 1clo) est comprise entre 20 et 24°C, alors qu'en été (habillement de 0,5 clo) elle est comprise entre 22 et 26°C. Rappelons qu'il ne s'agit pas de la température de l'air seulement, mais d'une combinaison entre celle-ci et la température radiante.

** PPD: (Predicted Percentage of dissatisfied)

II-6-2 Conditions de confort thermiques forfaitaires:

Dans son rapport technique 1752 (en 1998), la commission européenne de normalisation (CEA) propose trois catégories ou classes de confort, correspondant à des exigences élevées, moyennes ou minimales. Ces classes correspondent à celle mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau I-3: les trois classes d'environnements intérieurs proposés dans le rapport (CEN, 1998).

Source : Roulet CA.2006.

Classe de confort	Equilibre thermique global du corps		Inconforts locaux supplémentaires Pourcentage de plaintes pour			Asymétrie de température Radiante (°c)
	PPD	PMV	Courants d'air	Gradients de température verticaux	Température du sol	
A (haute)	< 6%	-0,2 à +0,2	< 15%	< 3%	< 10%	< 5
B (moyenne)	< 10%	-0,5 à +0,5	< 20%	< 5%	< 10%	< 5
C (minimum)	< 15%	-0,7 à +0,7	< 25%	< 10%	< 15%	< 10

II-7 Le confort adaptatif:

Le modèle de Franger est basé sur des expériences effectuées en chambre climatique et en régime stationnaire, les occupants réagissant de manière passive aux Stimuli. L'expérience journalière montre que la température idéale n'est pas constante. Les habitants aiment adapter les conditions climatiques intérieures à leurs besoins et réciproquement, ils adaptent leurs habillements et leurs activités aux conditions ambiantes.

Dans le cadre du projet de recherche ASHRAE* 884, les données observées dans 160 bâtiments dans le monde entier par De Dear et ses collègues, qui ont séparé ces bâtiments en deux catégories: les bâtiments à ventilation naturelle et les bâtiments avec air conditionné (De Dear et Borger 2002). Dans ces dernières, les températures observées correspondent à celles que l'on peut prédire à l'aide du modèle de Franger repris par la norme ISO 7730. Par contre, dans les bâtiments avec ventilation naturelle, le modèle ne prédit pas la température idéale correcte.

Il semble que les habitants s'adaptent aux conditions locales en utilisant des moyens qui ne sont pas pris en compte dans le modèle ISO 7730.

* ASHRAE : American society of heating refrigerating and air conditioning engineers.

Ainsi en tenant compte de l'adaptation des occupants, la température opérative idéale dans les bâtiments à ventilation naturelle ne suit pas le modèle ISO 7730, mais dépend plutôt de la température extérieure comme le propose De Dear dans la figure I-9

$$\theta_{op} = 17,8 + 0,31\theta_e$$

où θ_{op} : température opérative idéale

θ_e : température extérieure en moyenne mensuelle.

Ce modèle n'est valable qu'entre 8°C et 32°C de température extérieure moyenne, et la température idéale pour 90% de la population reste comprise entre 17°C et 22°C par temps très froid et entre 25,5 et 30,5°C pendant la canicule. Comme le montre la figure I-8, les prédictions de la norme ISO 7730 sont différentes de celle du modèle adaptatif.

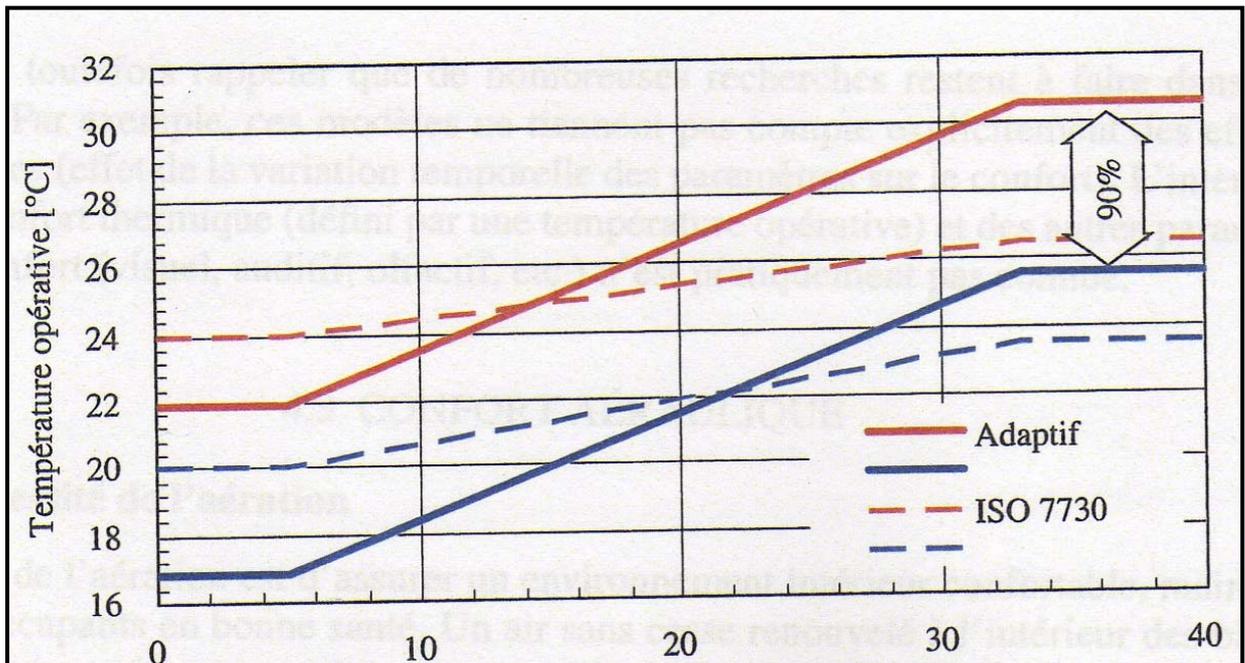


Figure I-12 : modèle de confort adaptatif De Dear et Brager et selon ISO pour 1,2met

Source: Roulet C.A. 2006

Même si on tient compte des variations saisonnières de l'habillement (1clo en hivers et 0,5clo en été). Ce modèle de confort adaptatif propose de nouvelles règles de conception pour les bâtiments à ventilation naturelle et permet des économies d'énergies importantes, spécialement en période de chaleur.

II-7-1 L'utilité des modèles de confort thermique:

Il est maintenant prouvé que, à activité et habillement égaux, des facteurs tels que l'âge, le sexe, la corpulence, l'origine, la race, etc. ne modifient pas les exigences de confort de façon significative. Le résultat obtenu par De Dear et Broger, permet donc de prédire, déjà au niveau de l'avant-projet, les conditions de confort qui régneront dans un bâtiment. Ceci permet d'imaginer une architecture sortant des sentiers battus, tout en apportant certaines garanties quant au confort obtenu. L'étude et la prédiction du confort thermique permettent donc :

- la conception d'habitation offrant déjà un bon confort sans l'intervention des habitants, et permettant aux habitants d'agir à bon escient pour améliorer leur confort.
- le calcul de bilans énergétiques réels, tenant compte des occupants et de leurs exigences justifiées.
- le calcul des températures minima et maxima acceptables permettant de diminuer les besoins en énergie. (Roulet C.A, 2004)

Il faut toute fois rappeler que de nombreuses recherches restent à faire dans ce domaine. Par exemple, ces modèles ne tiennent pas compte explicitement des effets dynamiques (effet de la variation temporelle des paramètres sur le confort).

II-8 Mesures passives et mesures actives:

Pour assurer une bonne qualité de l'environnement intérieur, on peut appliquer des mesures passives et des mesures actives :

- a- Les mesures passives sont des mesures architecturales et constructives qui permettent d'atteindre naturellement le but poursuivi sans très peu d'apport d'énergie.
- b- Les mesures actives ou technologiques permettant d'atteindre le but poursuivi par des actions mécaniques, en consommant de l'énergie pour compenser les défauts du bâtiment ou compléter les mesures passives.

Voici quelques exemples de mesures passives (d'après Roulet C.A,2006):

- La distribution des volumes doit être adaptée au climat. Les grandes hauteurs sont recommandées dans les climats chauds, alors que les petits volumes, plus faciles à chauffer, le sont pour les climats froids. La distribution des pièces en hauteur favorise la ventilation par effet de cheminée, mais augmente aussi le gradient de température.
- L'emplacement des ouvertures détermine l'éclairage et la ventilation naturels. Par exemple, une ouverture tout en haut permet d'évacuer l'air chaud. Des fenêtres hautes éclairent mieux le fond des pièces que des vitrages larges.
- L'isolation thermique protège du climat extérieur. Si elle est placée à l'extérieur de la structure, elle la protège des variations rapides de température, stabilise la température intérieure, favorise l'utilisation des gains solaires, permet le refroidissement passif et supprime les risques de moisissure et de condensation.
- La ventilation naturelle est généralement mieux acceptée par les habitants que la ventilation mécanique. Elle permet des débits nettement supérieurs à ceux que la ventilation mécanique peut atteindre, ce qui facilite l'évacuation rapide de grandes quantités de polluants et améliore nettement l'efficacité du refroidissement passif.
- Le refroidissement passif consiste à refroidir la structure du bâtiment la nuit pour éviter les surchauffes les jours de canicule. Pour cela, on utilise de grandes ouvertures pendant toute la nuit, une des ouvertures étant située le plus haut possible.
- Le chauffage solaire passif consiste à utiliser le tableau du rayonnement solaire entrant dans le bâtiment par les fenêtres, ou parfois par des dispositifs ad hoc, pour contribuer au chauffage des locaux en période froide.

Les mesures passives ou constructives sont préférables aux mesures actives ou techniques, et qu'elles sont en tout cas nécessaires, surtout qu'elles sont généralement bon marché, consomment peu ou pas d'énergie et par définition ne peuvent pas tomber en panne, elles ne sont pas polluantes et n'ont pas d'effet sur l'environnement.

Les avantages et les inconvénients des mesures passives ou des mesures actives sont résumés dans le tableau suivant:

Tableau I-4 : Les avantages et les inconvénients des mesures passives ou des mesures actives

Source : Roulet C.A, 2006.

	Mesures passives	Mesures actives
Avantage	<ul style="list-style-type: none"> - bon marché - consomment peu d'énergie - ne tombent pas en panne 	<ul style="list-style-type: none"> - sont adaptées aux besoins - méthodes connues - souples - corrigent les erreurs
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - nécessitent de l'imagination - ne sont pas toujours adaptées - ne pardonnent pas d'erreur 	<ul style="list-style-type: none"> - chères - énergivores - pannes possibles - permettent des erreurs

Chapitre III : FONCTIONNEMENT ET COMPORTEMENT THERMIQUE DU BATIMENT

Introduction

L'ambiance intérieure d'un local est séparée de l'environnement extérieur par le système de construction que l'on peut considérer comme une enveloppe, dont l'une des fonctions essentielles est de créer un climat intérieur confortable.

Cette enveloppe est soumise à des sollicitations thermiques externes et internes, et l'ambiance intérieure du local résulte de la réponse de l'enveloppe à ces sollicitations. Cette réponse varie en fonction des caractéristiques géométriques, physiques et thermiques du système de construction.

La résistance thermique des éléments de l'enveloppe doit être aussi élevée que possible, tout en restant économiquement réalisable.

Les choix du système constructif et la technique de construction ne pourront être adoptés de façon intuitive, et la faisabilité économique devra être évaluée par des méthodes rigoureuses.

III-1 Fonction thermorégulante des éléments du bâtiment : enveloppe et structure :

L'approche thermique de la question des enveloppes, et des structures fut extrêmement évoquée par les architectes à l'époque où l'énergie était peu coûteuse. Dans une première époque, qui a aussitôt suivi le premier choc pétrolier des années soixante dix, l'enveloppe du bâtiment a été conçue comme un manteau thermique dont, le premier rôle était de réduire les déperditions de chaleur pendant la saison froide. La simplification qui a consisté alors à considérer l'enveloppe uniquement comme un système de protection s'est vite avérée insuffisante, et très pénalisante en conception architecturale. Avec le progrès scientifique, les praticiens ont pu constater que l'enveloppe était indissociable des structures internes et qu'elle s'assimilait plus à une peau respirante qu'à une carapace s'opposant aux sollicitations climatiques.

A travers l'analyse du comportement des enveloppes et structures internes, on a essayé de décrire les influences respectives des différents facteurs physiques dont l'architecte reste le maître, comme les caractéristiques et le comportement thermique des matériaux qui composent l'enveloppe et la structure des constructions. Les nombreuses répercussions de ces données scientifiques sur la technologie ou, plus directement, sur la conception des ouvrages justifient effectivement des contenus d'enseignement assez approfondis sur la nature des matériaux, leurs qualités hygrothermiques et mécaniques, les capacités d'accumulation ou leurs caractéristiques d'échange thermique. Une analyse dans ce domaine permet à l'architecte d'aborder de façon plus globale la question de l'enveloppe et des structures du bâtiment.

III-1-1 Les fonctions d'échange:

III-1-1-1 Les fonctions d'échange des enveloppes:

En se basant sur les fondements scientifiques des mécanismes de transfert thermique, il a été montré comment les enveloppes échangent perpétuellement des flux avec, l'environnement extérieur et avec les ambiances intérieures. Ainsi on peut déduire que l'enveloppe filtre, transforme les sollicitations qu'elle reçoit et donc, recrée en permanence des ambiances dont le caractère temporel met l'utilisateur en relation avec la nature (par le climat).

III-1-1-2 Les fonctions d'échange des structures internes (planchers et cloisons):

Les structures internes qui constituent les réservoirs de stockage thermique par excellence du bâtiment, sont sujettes à des sollicitations analogues à celles qui intéressent l'enveloppe. Toutefois, les phénomènes en jeu ne sont pas aussi complexes par le fait que, ces structures ne sont pas en contact direct avec les ambiances extérieures. Ces fonctions d'échange sont à la base du concept d'inertie, qui se forme autour du couplage enveloppe structures internes, puisque chacune de ces composantes conditionne de façon dynamique le régime thermique général.

III-1-2 Les fonctions de captation :

III-1-2-1 Les fonctions de captation des enveloppes:

La notion d'enveloppe a évolué au cours des dernières années, pour passer de la simple fonction de protection thermique, à celle d'amortisseur des sollicitations climatiques. Et à côté des fonctions d'échange, sont apparues les fonctions de captation du rayonnement solaire qui autrefois étaient considérées comme négligeables. Ainsi les enveloppes apparaissent maintenant comme des systèmes totalement actifs et efficaces dans la récupération des énergies gratuites disponibles sur un site climatique donné.

Si les effets de captation des parties opaques de l'enveloppe demeurent mineurs, ceux des zones vitrées sont particulièrement importants. On trouve d'ailleurs, ici, la dualité constante caractérisant les questions du thermique. D'une part, on peut concevoir des enveloppes économes en énergie et d'autre part, ces mêmes enveloppes doivent contribuer à créer des ambiances thermiques confortables. Toute la perspicacité du concepteur sera requise pour exploiter de la meilleure façon les connaissances thermo physiques acquises et tendre vers la solution la plus optimale. Car la dégradation de l'un des facteurs n'est jamais compensée par l'excellent résultat de l'autre, et la notion de performance thermique s'envisage autour d'un bon compromis.

III-1-2-2 La fonction de captation des éléments de construction (planchers et cloisons):

Par leur position, mais aussi, par leur état de surface, ces structures prennent part au processus de captation pendant les séquences d'enseillement. On ne pourra véritablement maîtriser les ambiances que si on sait se "servir" de ces structures et en déduire leurs caractéristiques thermo physiques.

On peut ainsi conclure à une interdépendance étroite entre les enveloppes et les structures intérieures à travers le facteur thermique.

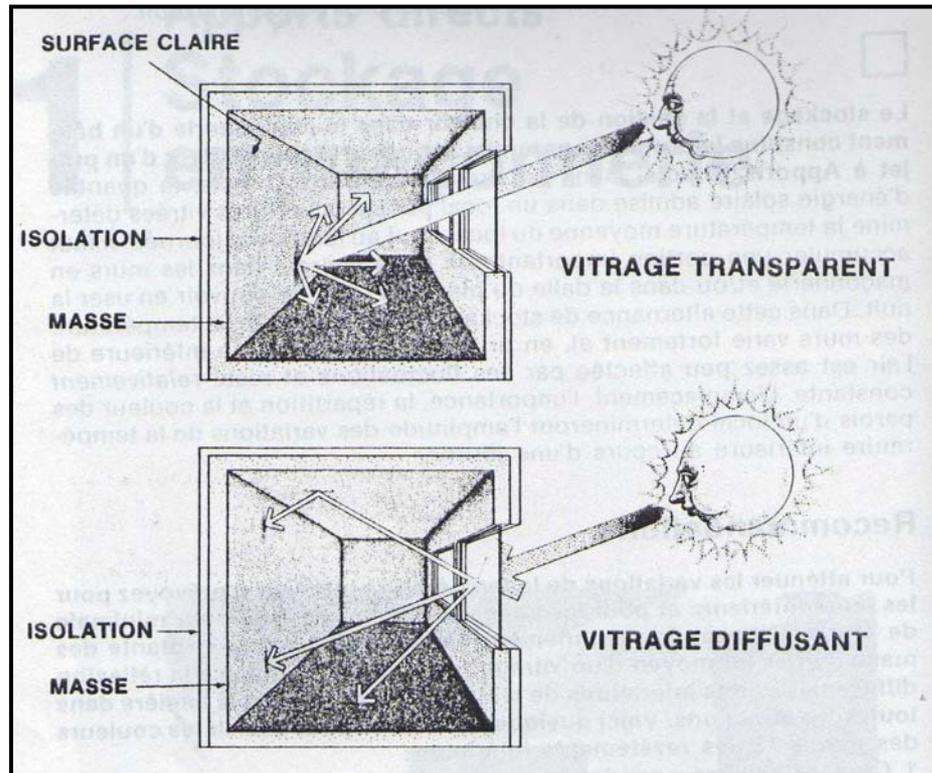


Figure I-13 : captage et stockage thermique

Source: Mazria E. 1980

III-1-3 Comment nos maisons se réchauffent?

Pour comprendre pourquoi des maisons ou des bâtiments sont plus ou moins chauds l'été, il faut avant tout faire l'inventaire des causes principales de réchauffement.

III-1-3-1 La pénétration directe du soleil par les fenêtres:

Si les fenêtres exposées à l'ensoleillement ne sont pas protégées par un masque (un débord de toiture, un balcon, des arbres) ou par des stores ou des volets, le rayonnement solaire pénètre à l'intérieur et réchauffe l'air ainsi que les parois et le mobilier. Cette chaleur se diffuse ensuite par conduction dans la masse des matériaux, par convection entre l'air et la surface des parois, et par rayonnement vers les autres parois.

III-1-3-2 La pénétration indirecte par les murs et la toiture:

Le soleil qui frappe les murs extérieurs et le toit réchauffe ces parois. Cette chaleur est transmise par conduction vers l'intérieur, plus ou moins rapidement selon leur épaisseur et les matériaux qui les constituent. Avec un certain retard, une partie de la chaleur absorbée par les parois finit par participer à l'accroissement de la chaleur intérieure.

III-1-3-3 La pénétration de l'air chaud par les ouvertures :

Lorsqu'on ouvre la porte ou les fenêtres pendant la journée, l'air chaud pénètre dans la maison. Si portes et fenêtres sont trop perméables, l'air chaud pénètre même quand elles sont fermées, tout comme l'air froid en hiver.

III-1-3-4 La production de chaleur à l'intérieur du bâtiment :

Tout local occupé possède des sources de chaleur : les occupants eux-mêmes, mais aussi les sources d'éclairage, les appareils électroménagers, l'équipement de bureautique, les appareils de cuisson. Dans les locaux bien isolés, leur participation au réchauffement peut être très importante.

- Nos appareils, source de chaleur méconnue.

Tous nos appareils ménagers, même lorsqu'ils sont en veille, consomment de l'énergie dont la quasi-totalité est transformée en chaleur. La quantité de chaleur produite dépend de la puissance de l'appareil et du temps d'utilisation.

- L'éclairage produit la chaleur

La chaleur dissipée par nos appareils d'éclairage est souvent importante : une lampe halogène de 500W utilisée durant 4 heures en soirée crée un apport supplémentaire de chaleur de 2 kWh.

Une lampe halogène de 500W ne convertit que 6% de l'énergie électrique qu'elle consomme en énergie lumineuse : les 94% restants sont directement "perdus" sous forme de chaleur (Salomon Th .et al,2006).

En atteignant les objets environnants, la lumière elle-même, sous forme d'ondes électromagnétiques, est en partie réfléchi et en partie absorbée par ces objets. La part de lumière absorbée est alors convertie en chaleur.

Au bout de quelques réflexions, la totalité des 6% d'énergie lumineuse émis par la lampe est transformée en chaleur : c'est donc bien 100% de l'énergie fournie qui est finalement dissipée sous forme de chaleur dans la pièce où la lampe est utilisée. (Aubert C. et al, 2006)

III-1-3-5 La capacité insuffisante des parois à absorber la chaleur :

Les matériaux de construction à forte inertie (en général les matériaux lourds) sont capables de stocker une quantité importante de chaleur, et se réchauffent plus lentement et plus faiblement que les matériaux à faible inertie, comme la plupart des isolants. Inversement, des murs à faible inertie (en parpaing peu épais par exemple) stockent peu de chaleur et la restituent rapidement à l'intérieur.

III-1-3-6 Le renouvellement insuffisant de l'air frais de la nuit :

Pour évacuer la chaleur accumulée pendant la journée, un moyen efficace consiste à faciliter la pénétration, et surtout le renouvellement rapide de l'air frais de la nuit (sur ventilation). Cette méthode reste toutefois limitée en ville, où l'abaissement nocturne de la température de l'air extérieur est plus faible que dans la campagne. (Salomon T. et al, 2006)

III-2 Fonctionnement thermique du bâtiment dans les conditions d'ambiances chaudes:

Les lois qui régissent l'évolution de la température intérieure sont complexes. De ce fait, elles ne peuvent être traitées exhaustivement dans le cadre de cette étude. J.L. Izard les a présentées dans une expression simplifiée qui en synthétisera les principales caractéristiques.

III-2-1 Formulation simplifiée de la température intérieure :

La température intérieure T_i dans un local non climatisé est supposée égale à la somme de trois paramètres

$$T_i = T_{e \text{ moy}} + ST_{si} + VT_i$$

Ou :

$T_{e \text{ moy}}$: est la température moyenne extérieure.

ST_{si} : est le supplément moyen de température intérieur dû aux apports solaires et internes.

VT_i : est la variation diurne de la température autour de la moyenne intérieure qui se fait entre $+A_i$ et $-A_i$, A_i étant l'amplitude de la température intérieure.

III-2-1-1 Température moyenne extérieure :

Cette grandeur est une caractéristique du site de la construction. Elle peut être obtenue au niveau des stations météorologiques, est égale à la moyenne entre la température maximale et la température minimale.

III-2-1-2 Supplément de température intérieure moyenne ST_{si} :

Cette notion est capitale pour comprendre comment fonctionne thermiquement un bâtiment sous des conditions d'ambiances chaudes. Cette grandeur renvoie aux sources de chaleurs internes du bâtiment qui provoquent un échauffement moyen de celui-ci. Deux sources peuvent contribuer à ce supplément de chaleur : les apports solaires, et les apports internes.

Les premières sources représentent le rayonnement solaire pénétrant à l'intérieur de l'espace habitée par les baies et les parois opaques exposées au rayonnement solaire global.

Les secondes correspondent à l'énergie dissipée suite à l'utilisation des appareils ménagers, la cuisson des aliments, et le dégagement métabolique (chapitre III, §1-3).

Les deux facteurs sont néanmoins pondérés par les déperditions thermiques à travers les parois, et la ventilation supposée permanente.

III-2-1-3 Variation diurne de la température intérieure VTi:

Cette variation dépend de quatre facteurs :

- L'amplitude de température extérieure (différence Tmax-Tmin), données climatiques.
- L'inertie thermique utile du local, plus cette inertie est forte, plus l'amortissement de l'amplitude extérieure est grand, et donc, l'amplitude intérieure est faible.
- Les apports solaire : ces apports étant diurne, contribuent à augmenter les températures diurnes Ai, qui sera d'autant plus marquée que l'inertie thermique sera faible.
- La ventilation du local, quand elle est :
 - * forte et permanente => restitue l'amplitude extérieure.
 - * nulle => laisse agir l'amortissement.
 - * nocturne ou diurne => conduit à une situation intermédiaire.

On peut donc dire à priori, pour une amplitude extérieure donnée et une ventilation faible, que :

- Sans apport solaire et avec une forte inertie thermique, Ai et VTi seront faibles.
- Avec apport solaire et une faible inertie thermique, Ai et Vi seront importants.

D'une façon générale, la température intérieure évolue entre deux valeurs ; Ti max et Ti min

$$Ti \text{ max} = Te \text{ moy} + STsi + Ai$$

$$Ti \text{ min} = Te \text{ moy} + STsi - Ai$$

III-2-2 Les principaux facteurs architecturaux influençant la température intérieure :

III-2-2-1 Le supplément des températures dû à l'ensoleillement STi :

Dépendant des apports solaires et internes, ce paramètre recouvre les aspects suivants :

- 1- La puissance des apports solaires qui met en cause :
 - La géométrie des baies exposées au soleil, l'orientation, la nature du vitrage.
 - Les protections solaires et les masques architecturaux.
 - La gestion des fermetures par les occupants.
- 2- Le coefficient G, qui recouvre :
 - L'isolation thermique des parois opaques et le facteur de compacité du bâtiment.

- 3- Le débit de ventilation, qui met en cause :
- La dimension des ouvertures.
 - L'orientation des baies par rapport aux vents dominants.
 - La disposition des ouvertures sur les façades.
 - L'architecture intérieure des locaux.
 - Le supplément de température dû aux apports internes.

On ajoute aux facteurs 2 et 3 :

- 4- Le comportement de l'habitant en ce qui concerne :
- L'usage des appareils électroménagers.
 - L'usage de l'eau chaude sanitaire.
 - L'usage de la cuisine.

III-2-2-2 La variation diurne de la température intérieure, VTi :

Ce paramètre met en cause l'inertie thermique du local il englobe :

- La capacité calorifique ou la chaleur massique des matériaux employés
- La quantité des matériaux mis en œuvre.

On peut ajouter à l'inertie thermique d'autres facteurs déjà évoqués en §3 :

- La dimension des baies exposées à l'ensoleillement.
- La protection solaire de ces baies.
- Le régime de ventilation du local.

Enfin, pour maintenir la température intérieure confortable en période chaude, les conseils à suivre se résument aux points suivants :

- Une augmentation du débit de ventilation, uniquement quand la température extérieure est plus fraîche que la température intérieure.
- Une augmentation du coefficient G par le choix judicieux des matériaux de construction.
- Un contrôle approprié des apports solaires.
- Une réduction des apports internes.

Ces orientations représentent des stratégies qui permettent de se protéger des rigueurs du climat chaud.

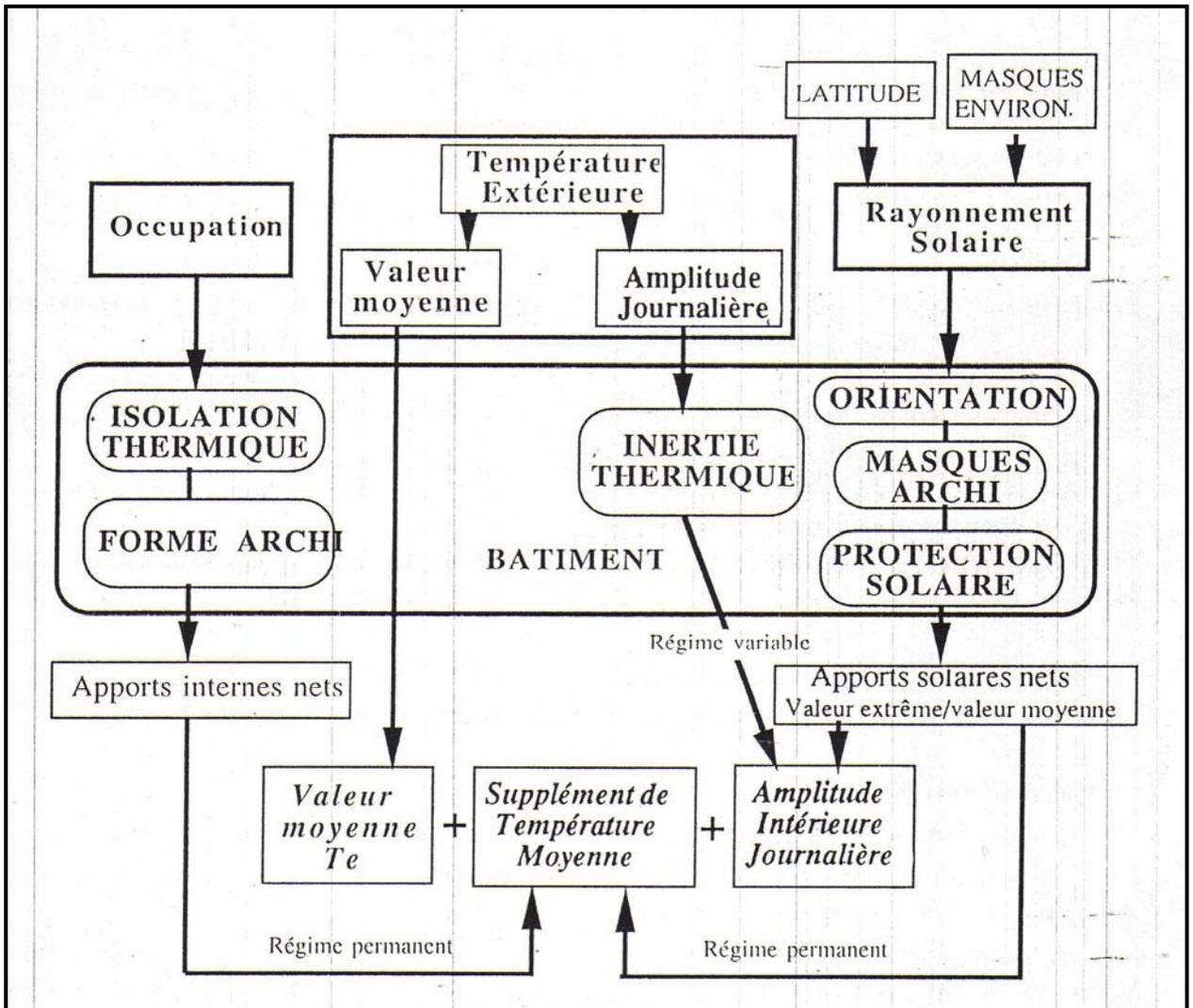


Figure I-14 : schéma récapitulatif

Source: Izard J.L. 1993

Ce schéma montre comment se décompose la température intérieure d'un local, et comment ces composantes sont générées. Les facteurs architecturaux sont rassemblés dans le cadre (bâtiment).

Les facteurs climatiques ou les sources de chaleurs sont au dessus ; les conditions d'intérieures sont au dessous. Le type de régime thermique mis en jeu est précisé le long des flèches.

Conclusion

Les transferts d'énergie sont des processus qui se produisent simultanément dans deux directions. Le rayonnement est absorbé et réfléchi. La chaleur est transférée par conduction et convection à travers la masse du mur, la chaleur est absorbée puis relâchée.

En effet, nous avons pu constater la mise en œuvre des éléments du bâtiment (parois opaque, parois transparente, toiture, etc.); jouent un rôle très capital dans les échanges thermiques avec l'environnement, mais aussi, dans la gestion des flux de chaleur de diverses origines qui circulent à l'intérieur du bâtiment.

La fonction thermorégulante des éléments du bâtiment permet une fonction de captation du rayonnement solaire et d'échange de ce dernier avec l'ambiance à travers une conception appropriée de leur forme, matériaux, mode d'agencement, couleur extérieure, texture, orientation, etc.

Les facteurs de conception peuvent être manipuler pour tout projet quel que soit son ambiance de façon à ce que le même projet peut à la fois participer à l'augmentation de la température intérieure grâce à la fonction de captation et de stockage. Comme il peut aussi empêcher la pénétration de la chaleur à travers l'enveloppe pendant la période chaude et l'évacuer à l'aide des différents moyens de ventilation.

Chapitre IV : INFLUENCE DES PARAMETRES DE CONCEPTION ET DE CONSTRUCTION SUR LES BATIMENTS DES REGIONS CHAUDES ET ARIDES

Le but visé est la diminution de la chaleur à l'intérieur. Cependant, L'influence des différents facteurs de conception sur la réponse thermique du bâtiment et l'amélioration des ambiances intérieures qu'ils peuvent générer seront déterminés par ce chapitre.

IV-1 Ouvertures :

Elles sont des lieux privilégiés d'échange thermique, il faut donc porter à ces ouvertures un intérêt particulier quant à leurs dispositions, leurs dimensionnements, et leurs protections, pour améliorer et non aggraver le confort attendu.

L'énergie solaire qui pénètre par un vitrage à chaque moment de l'année dépend principalement de trois facteurs :

IV-1-1 L'orientation et l'inclinaison :

L'orientation à une influence sur l'énergie incidente, ce paramètre relève de plusieurs autres :

- La puissance maximale du rayonnement reçu.
- Le moment de la journée où se produit cette puissance maximale.
- L'albédo du sol.

Contrairement à une idée reçue, ce n'est pas le plein sud que l'ensoleillement est maximal sur un vitrage vertical. Une surface verticale orientée exactement au sud offre les apports solaires les plus faibles en été (après le plein Nord), elle permet donc d'atténuer le rayonnement solaire incident en été. Face à ces exigences, il convient avant tout de bien comprendre quelles sont les orientations les plus exposées à l'ensoleillement estival. A ce titre les orientations est et ouest sont à éviter pour les climats chauds. (Obert C et al, 2006)

IV-1-2 La dimension des surfaces vitrées :

Cette dimension est le facteur qui influe le plus la quantité totale d'énergie solaire (directe, diffuse, globale) qui peut pénétrer dans le bâtiment. L'augmentation de la surface vitrée d'un local entraîne un accroissement proportionnel de la température d'air intérieur, principalement diurne, provoquant du même coup une augmentation de l'amplitude journalière (Izard J.L, 1993).

En climat chaud, les baies vitrées de grandes dimensions sont à éviter. (Mazria E, 1981).

IV-1-3 Protection solaire :

On entend par "protection solaire", l'ensemble des paramètres qui ont pour effet de contrôler les échauffements dus aux apports solaires, par les ouvertures ou, par les parois opaques (Izard J.L, 1993)

IV-1-3-1 L'ombre obtenue par les masques architecturaux :

Bien entendu chaque orientation a ses propres besoins, et la façon de contrôler les apports solaires diffère beaucoup d'une saison à l'autre.

De ce fait, l'effet des masques architecturaux est très recherché en climat chaud, parce qu'il réduit la quantité d'énergie solaire globale incidente. Les différents masques architecturaux utilisés sont les plus courants tels que : balcon, loggia, rebord de toiture, saillies de refends, vis-à-vis..., ou spécifique tels que les brises soleil horizontaux, verticaux ou combinaison des deux. Cependant, tous ces masques n'ont pas la même efficacité.

En fonction du facteur de transmission F_t , Izard montre que la protection offerte par l'auvent pendant la journée entière est toujours la meilleure (exprimée par la valeur de F_t minimale) pour l'orientation sud.

Ou : $F_t = \text{énergie incidente avec masque} / \text{énergie incidente sans masque}$ (Izard J.L 1993).

Les caractéristiques agissant sur la valeur de F_t sont :

- Le type de masque auvent, flanc, patio, vis-à-vis pour les parois verticales, parasol pour les parois horizontales.

- Les dimensions du masque dans le type : écartement et débord par rapport à la surface masquée, profondeur, distance.
- L'inclinaison de la surface réceptrice.
- L'orientation de la combinaison masque- surface de la baie.

La figure suivante illustre quelques types d'écrans :

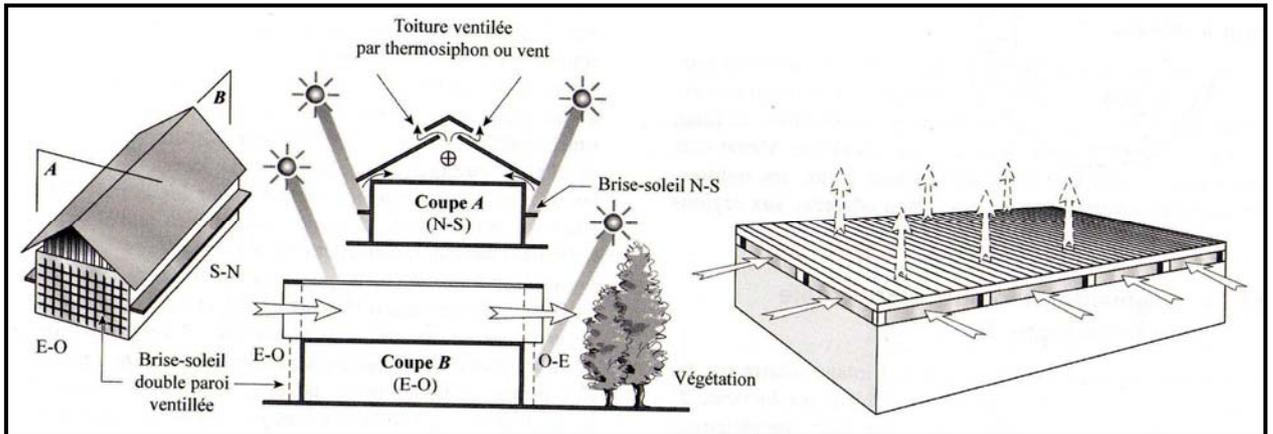


Figure I-15 : différents types d'écrans et leurs refroidissements

Source : Fernandez P. 2009

IV-1-3-2 Protection mobile :

Les protections mobiles permettent de réduire l'énergie solaire pénétrant par les baies vitrées. Ces systèmes peuvent être employés soit à l'extérieur, soit à l'intérieur, ils peuvent être fixes, réglables ou repliables et regroupent : les voilages, les rideaux, les stores, les persiennes, les volets.

- Fermetures placées côté extérieur du vitrage (store, volet roulant, persienne). C'est une formule excellente, efficacité maximale, surtout si le rayonnement solaire intercepté est réfléchi.
- Protections placées côté intérieur du vitrage (voilage, rideaux, stores vénitiens, stores à enroulements), elle est moins efficace que les protections externes. Lorsque la surface externe de la fermeture est absorbante, dans ce cas la chaleur est générée à l'intérieur et reste piégée du fait de, l'opacité du verre qui empêche toute dissipation de chaleur (effet de serre).

L'efficacité des protections intérieures est donc déterminée par son facteur de réflexion (tableau suivant).

Tableau I-5 : Facteurs solaire en pourcentage de différents types de protections

Source : Salomon Th. et al, 2006

	Vitrage simple		Double vitrage		
	Store à l'extérieur	Store à l'intérieur	Store à l'extérieur	Store entre les deux vitres	Store à l'intérieur
Volets battants ou roulants		5 à 10%		5 à 10%	
Stores à lames minces (type vénitien)	10 à 15%	45 à 75%	5 à 10%	30 à 45%	45 à 80%
Stores de toile opaques	5 à 15%	35 à 65%	5 à 10%	20 à 45%	45 à 75%
Stores de toile légèrement transparents	15 à 25%	35 à 65%	10 à 20%	25 à 45%	40 à 75%
Stores de toile assez transparents	20 à 30%	40 à 70%	15 à 25%	30 à 50%	40 à 75%

La protection est d'autant meilleure que le facteur solaire est plus faible. Les valeurs inférieures de chaque fourchette correspondent à des protections des couleurs claires, les valeurs supérieures à des couleurs de protection sombre

IV-1-4 Nature du vitrage :

La nature du vitrage a une influence sur la transmission énergétique.

Les vitrages sont caractérisés par le « facteur solaire », qui représente la fraction de l'énergie solaire pénétrante par le vitrage par rapport à la totalité que l'énergie solaire qui frappe celui-ci. Plus le facteur est faible, plus le vitrage s'oppose efficacement à la pénétration du rayonnement solaire (Wright E, 2003).

Tableau I-6: Coefficient d'isolation et facteur solaire de différents vitrages

Source : Aubert C, et al, 2006

	Coefficient d'isolation du vitrage en W/m ² .k)	Facteur solaire du vitrage
Simple vitrage	5,10	90%
Double vitrage 4/6/4	3,60	81%
Double vitrage 4/12/4	2,95	81%
Double vitrage anti-émissif 4/12/4	1,80	75%
Double vitrage anti-émissif 4/12/4 et argon	1,40	75%

Tableau I-7: protections adaptées contre le soleil d'été en fonction de l'orientation du vitrage (vitrages verticaux)

Source : Aubert C, et al, 2006

Orientation générale	Orientation en degrés (sud : 0°)	Ensoleillement en été	Type de protection solaire sur vitrages verticaux
Nord-Est à Nord-Ouest	+120° à -120°	faible	Inutile
Est	+120° à -60°	moyen	Végétation
Sud-est	-60° à -20°	important le matin	stores ou volets
Sud	-20° à +20°	moyen	avancée de toiture, balcon
Sud-ouest	+20° à +60°	Important l'après-midi	stores ou volets
Ouest	+60° à +120°	moyen	stores ou végétation

IV-1-5 Les films solaires :

Il s'agit d'une nouvelle génération de protections solaires constituées, en générale, d'une fine couche métallique prise en sandwich entre deux films de polyester. Les films sont collés sur la vitre, ils empêchent la pénétration d'une proportion importante des infrarouges et diminuent fortement le facteur solaire des vitrages.

IV-2 Les parois opaques :

Que se passe-t-il au long de la journée dans un mur en contact avec l'extérieur ?

Du fait de leurs expositions au rayonnement solaire, les parois opaques peuvent transmettre la chaleur résultante. Le processus est le suivant :

Supposons qu'à l'origine la température soit la même partout à l'extérieur, dans le mur et à l'intérieur (schéma A, figure I-10). Le matin, la température extérieure s'accroît, et un transfert de chaleur débute depuis l'extérieur vers l'intérieur du mur (schéma B).

. La température de la face extérieure s'élève, et une onde de chaleur traverse progressivement le mur, qui stocke ainsi la chaleur. Un peu après midi (schéma C), la température de la face extérieure est à son maximum, tandis que la température de la face intérieure s'élève. Le flux de chaleur se dirige toujours vers l'intérieur : le mur continue d'accumuler de la chaleur.

Lorsque la température extérieure commence à baisser au cours de l'après-midi (schéma D), la face extérieure du mur devient un peu moins chaude ; c'est à l'intérieur du mur que la température est plus élevée. Le flux de chaleur ne se dirige plus dans un seul sens, mais du point interne le plus chaud vers les deux faces du mur. Du côté extérieur, c'est ce "retour" de chaleur qui explique qu'un mur ensoleillé reste longtemps plus chaud que l'air extérieur en fin de journée.

En soirée et durant la nuit (schémas E et F), le flux continue à diffuser avec retard de la chaleur vers l'intérieur. figure I-11.

La température en tous points du mur dépend de multiples facteurs.

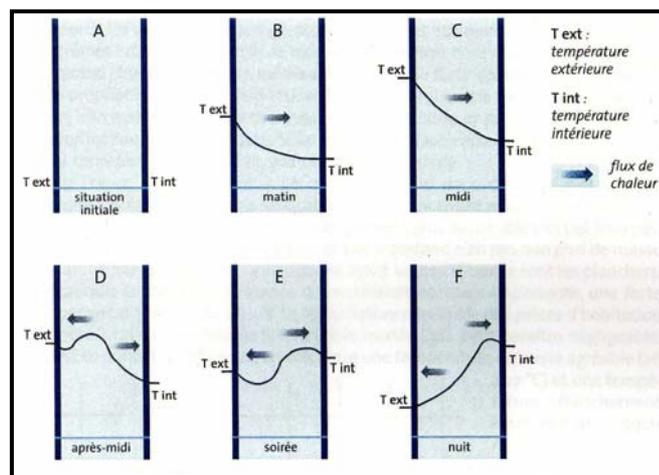


Figure I-16 : évolution de la température dans un mur extérieur au cours d'un jour complet

Source : Aubert C, et al, 2006

IV-2-1 Les qualités thermo physiques des matériaux :

La quantité d'énergie transmise par une paroi externe est proportionnelle à sa conductance, alors que la chaleur absorbée et stockée dans le matériau dépend essentiellement de la capacité calorifique de la paroi. Ainsi, le flux de chaleur transmis à l'intérieur du bâtiment décroît lorsque la capacité calorifique de sa structure croît. Donc, cette caractéristique modère l'importance du flux entrant et sortant, ce qui réduit les fluctuations des températures intérieures.

IV-2-2 Dimension des parois :

La surface totale des parois opaques met en jeu le facteur de la compacité de l'enveloppe du bâtiment. Donc, la procédure la plus favorable consiste à rendre minimale la superficie des parois extérieures.

IV-2-3 Orientation et inclinaison :

Cette grandeur gouverne l'intensité du rayonnement solaire incident.

L'orientation des parois opaques a le même effet que celui qui a été signalé avec les parois vitrées (§IV-1-4). L'orientation nord-sud est préférable à celle est ouest. (Izard J.L, 1993).

Quant à l'inclinaison, rappelons que les surfaces les plus exposées sont les surfaces horizontales partie II §II-2-3-1. et celles proches de l'horizontale (inclinaison inférieure à 45° en toutes orientations). (Izard J.L, 1993).

IV-3 Les masques architecturaux :

L'effet attendu est celui de l'ombre portée sur les parois, ce qui réduit considérablement l'énergie solaire incidente.

L'appréciation des effets pour les parois vitrés (§IV-1-3) sont évidemment tous valables pour les murs opaques. Les façades est et ouest, peuvent être protégées par des écrans formant une double paroi ventilée, ou des claustras. Les brises soleils horizontaux pour les vitrages sud et nord peuvent être continus afin de protéger également la surface opaque, en plus, il y a l'effet protecteur de la végétation.

Tableau I-8 : Mesures réalisées en Floride sur l'effet protecteur de protections végétales

Source : Salomon Th. et al, 2006

Type de protection	Diminution de la température diurne d'un mur par rapport au même mur dépourvu de protection végétale	
	Mur à l'ombre	Mur au soleil
Arbres	- 3,9°C	- 13,5°C
Arbres + haies	- 5,5°C	- 15,5°C
Plantes grimpantes peu denses	- 4,4°C	- 7,7°C
Plantes grimpantes denses	- 4,2°C	- 8,9°C

IV-4 Protection des parois horizontales :

Dans les climats chauds, les parois horizontales sont celles qui reçoivent le plus d'énergie solaire, leurs protections sont donc souvent plus qu'une nécessité. La solution la plus efficace, est leur ombrage par un comble ou des éléments de type parasol. Ces derniers ont pour fonction d'empêcher le rayonnement solaire d'atteindre la surface externe du plafond. De plus l'espace créé entre, le toit parasol et la dalle du plafond est propice à la génération d'une ventilation naturelle (Izard J.L, 1993). Il permet aussi aux habitants de profiter de cette ventilation diurne, et, la nuit de dormir sur la terrasse à l'abri du rayonnement vers le ciel.

Le pare-soleil horizontal peut être, encore, plus large, c'est-à-dire à l'échelle d'un îlot urbain (parasol d'îlot). Nous pouvons, en effet, concevoir un parasol qui couvre un ensemble de construction avec ses rues et ses espaces libres pour obtenir une couverture générale satisfaisante, dépassant le cadre de protection des parois verticales. Il faudra, toutefois, se préoccuper, soigneusement, de la ventilation et du rayonnement nocturne, en fait le parasol devra être traité en quadrillage maniable.

IV-5 Couleur et revêtement :

La couleur extérieure a une influence sur la partie du rayonnement solaire incident absorbé par la paroi. Plus la couleur est claire plus son facteur d'absorption est faible. Ce qui induit un abaissement maximal des températures diurnes, du moment qu'une part maximale du rayonnement est réfléchi (figure I-12).

Le badigeon à la chaux est plus important que celui obtenu par l'augmentation de la résistance ou de l'inertie thermique, avec comme avantage supplémentaire que le confort de nuit est également amélioré, parce qu'il permet au plafond de se refroidir davantage (rayonnement vers la voûte céleste) alors que des matériaux isolants réduisent ce refroidissement la nuit (Givoni B, 1981).

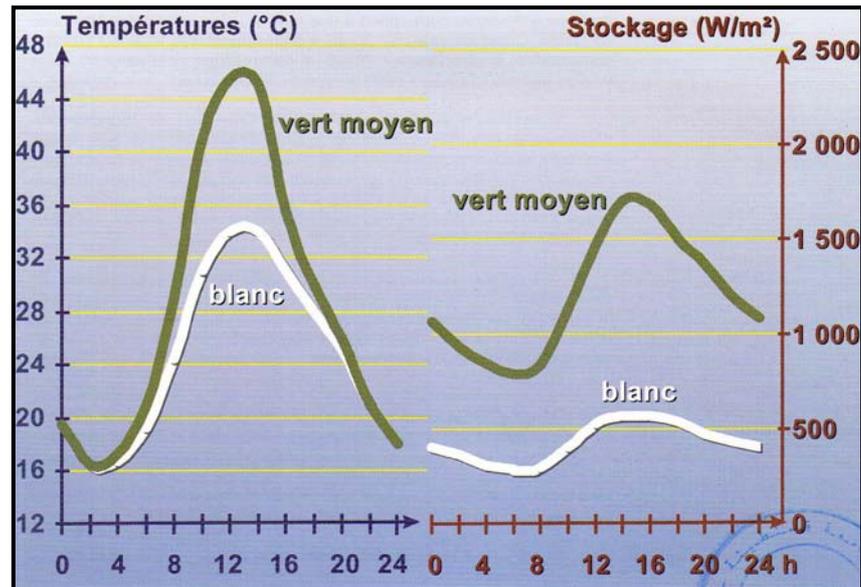


Figure I-17 : la couleur influence la température intérieure et le stockage de la chaleur
Source : Liébard A. et al, 2005

IV-6 Rôle de l'inertie thermique :

Parler d'inertie, c'est évoquer une lenteur ou une difficulté à changer une caractéristique indésirable lorsqu'un changement rapide est souhaitable, l'inertie peut cependant devenir une qualité précieuse lorsqu'il s'agit de chauffage ou de rafraîchissement.

L'inertie thermique désigne l'ensemble des caractéristiques thermophysiques d'un bâtiment qui le font résister à la variation des flux d'énergie qui s'exerce sur lui (Izard G.L 1993).

L'inertie thermique est une notion qui recouvre à la fois une accumulation de la chaleur et sa restitution, avec un déphasage dépendant des caractéristiques physiques, dimensionnelles et d'environnement de la paroi de stockage. Une grande inertie thermique permet la récupération de la chaleur du jour afin de la restituer la nuit. Ceci est particulièrement intéressant là où la différence de température diurne et nocturne est importante (figure I-13).

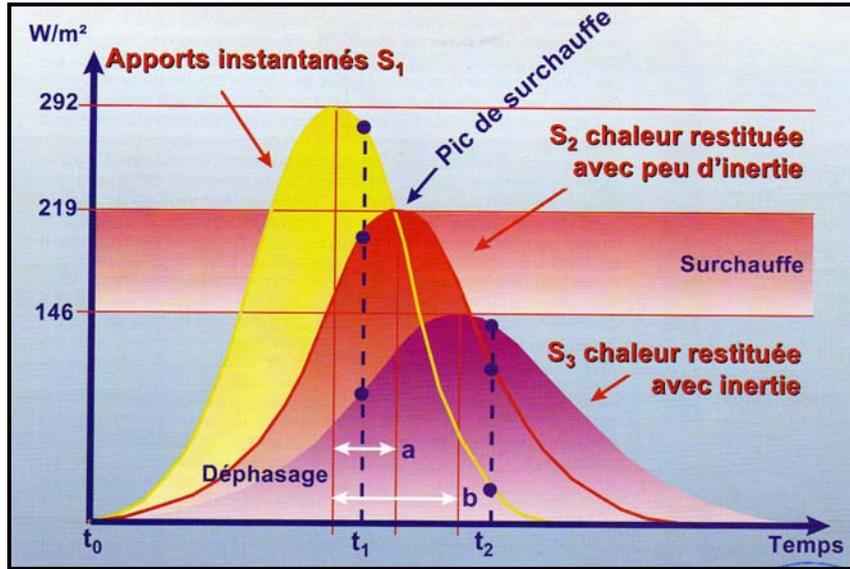


Figure I-18 : influence de l'inertie thermique sur le déphasage
 Source : Liébard A. et al, 2005

Elle est d'autant plus grande que le corps est massif et plus isolé du côté où il est exposé. Elle atténue le cycle diurne thermique extérieur, elle le décale (déphasage). Cela permet d'avoir un mur dont le maximum de température interne est atteint à minuit et le minimum à midi (figure I-14).

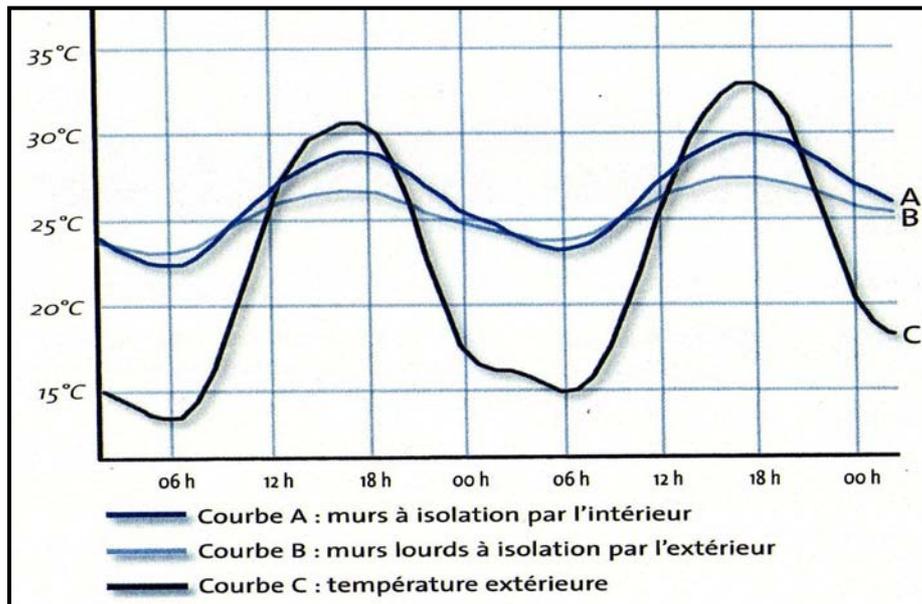


Figure I-19 : rôle de l'inertie et l'isolation
 Source : Salomon Th. et al. 2006

J. L. Izard souligne qu'il faut associer une ventilation à une forte inertie pour les climats chauds et secs. Il faut donc, ventiler dès que l'air extérieur est plus frais que l'air intérieur, afin de prélever des calories aux murs et aux masses thermiques en général. Une condition à satisfaire, cependant, est que les ouvertures doivent se faire face de sorte que le courant d'air ne soit pas gêné dans sa circulation (J. L. Izard, 1993).

En contre partie, de telles constructions se refroidissent lentement la nuit, et présentent des températures ambiantes nocturnes plus élevées que celles de l'extérieures. Cette surchauffe peut néanmoins être modérée par le recours à la ventilation nocturne.

IV-7 Isolation et chaleur estivale :

La fonction de l'isolation est de limiter le plus possible les transferts de chaleur d'un milieu à un autre. Ce sont donc les parois les plus exposées au rayonnement solaire qui doivent être isolées en priorité.

Les éléments composites fournissent une solution plus satisfaisante au problème des températures intérieures. A ce propos, Givoni souligne qu'en associant au matériau de forte inertie thermique, un matériau d'isolation moderne, on peut obtenir des conditions de confort proche ou meilleur de celle, généralement, obtenues dans les constructions traditionnelles (Givoni. B 1981).

L'isolation thermique pourrait, toutefois, altérer les possibilités de refroidissement nocturne des locaux, dans la mesure où elle amortit le transfert du flux de chaleur se déplaçant la nuit de l'intérieur vers l'extérieur. Mais, cet inconvénient est largement pondéré par l'effet de la ventilation nocturne (Izard J.L, 1993).

Le rôle de la lame d'air serait plus intéressant, si cette double paroi est munie d'un dispositif qui permet sa ventilation (Alpheeis P, 2003) (figure I-16).

En ce qui concerne le rôle de la lame d'air, Ibn Salah (1990) affirme qu'il est préférable que les lames d'air soient placées plus près de la face externe. Ce qui permet de conserver une plus grande épaisseur au bénéfice du stockage thermique en contact direct avec l'intérieur. Cette chaleur sera évacuée la nuit grâce au phénomène de refroidissement nocturne (figure I-15).

IV-7-1 Isoler les toitures :

Généralement impossible à protéger directement du rayonnement solaire et souvent de couleur sombre, les toitures sont redoutables accumulateurs de chaleur. Elles transmettent jusqu'à 2/3 des transferts de l'enveloppe vers l'intérieur du bâtiment, la réflexivité et l'isolation limitent ces apports thermiques. (Liebart A. et al, 2005)

L'épaisseur de l'isolant doit représenter au moins 20cm d'équivalent laine de verre, soit une résistance thermique de 5. En zone méditerranéenne fortement ensoleillée, il est conseillé d'augmenter encore cette valeur à 6. L'isolation par-dessus est toujours préférable, car elle permet d'utiliser plus facilement des matériaux en vrac, et limite les risques de ponts thermiques. De nombreux matériaux peuvent être utilisés, tels que perlite, liège expansé, laine de mouton, laine de cellulose, chanvre, paille, etc.

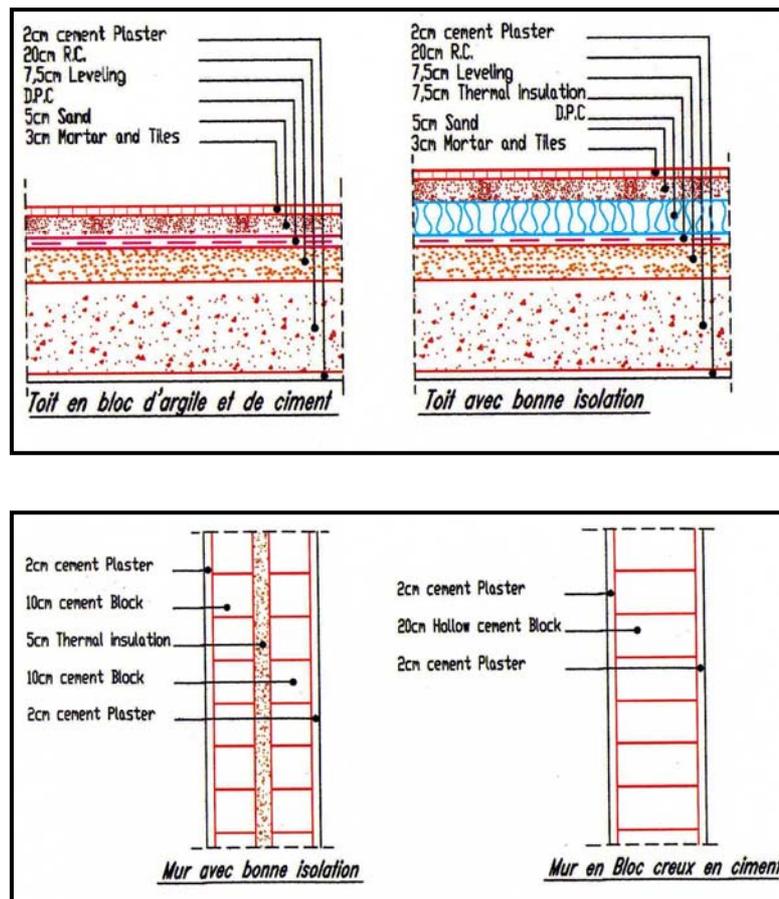


Figure I-20 : isolation des toitures et des murs

Source : Ibn Salah, 1990

Schéma repris par l'auteur.

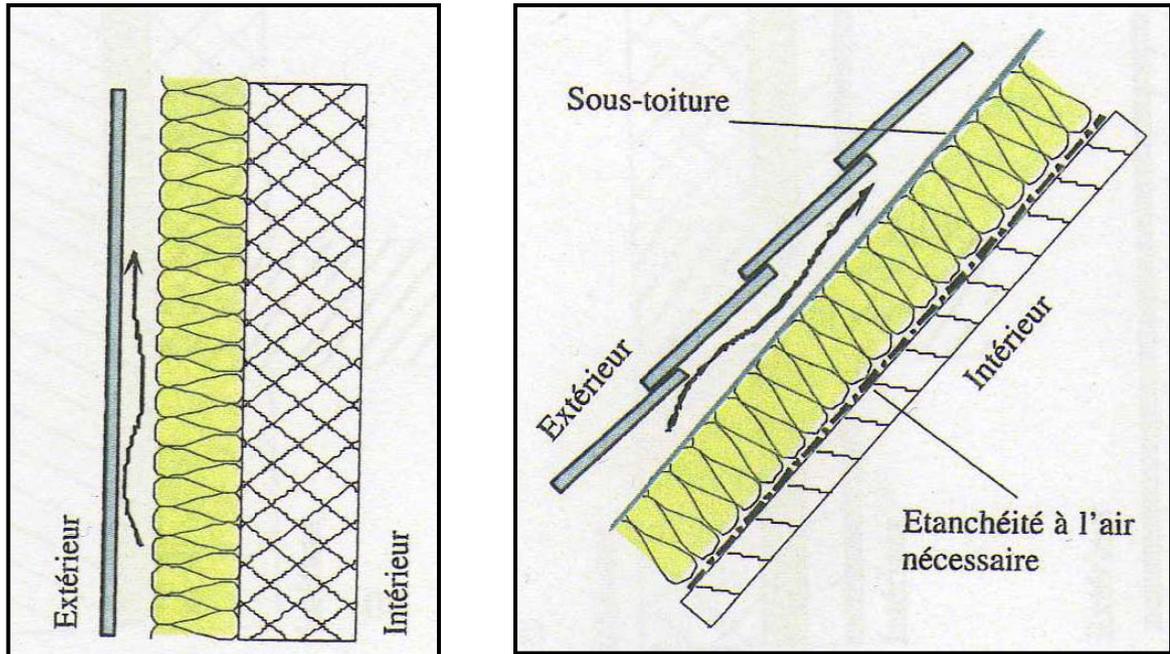


Figure I-21 : toiture et parois ventilées

Source : Roulet C.A, 2004

IV-7-2 Isoler les murs :

Les murs sont, avec la toiture et les fenêtres, la troisième surface principale de pénétration de la chaleur dans nos maisons et nos appartements. Leurs isolations est donc souvent essentielle pour se protéger de la chaleur comme du froid.

Dans la plupart des cas, il est préférable d'isoler par l'extérieur pour bénéficier de l'inertie thermique.

Avec la plupart des isolants, un autre inconvénient de l'isolation par l'intérieur est que les murs ne peuvent plus jouer le rôle de régulateur de l'hygrométrie de l'air intérieur.

IV-8 Les fonctions attribuées à la ventilation :

A côté des facteurs de conception dont l'efficacité relève essentiellement d'une bonne maîtrise de la mise en œuvre, le contrôle climatique en régions arides et chaudes peut également s'envisager grâce à la ventilation (figure I-17).

D'après Izard J.L (1993) la ventilation est au service de trois fonctions :

- Evacuation des surchauffes dues aux apports solaires ou internes instantanées.
- Amélioration de la sensation de confort thermique en favorisant l'effet d'évapotranspiration.
- Ventilation du refroidissement de la structure du bâtiment lorsque la température intérieure dépasse celle de l'extérieure. Elle permet donc de décharger thermiquement la masse du bâtiment, surtout la nuit afin de diminuer les températures diurnes.

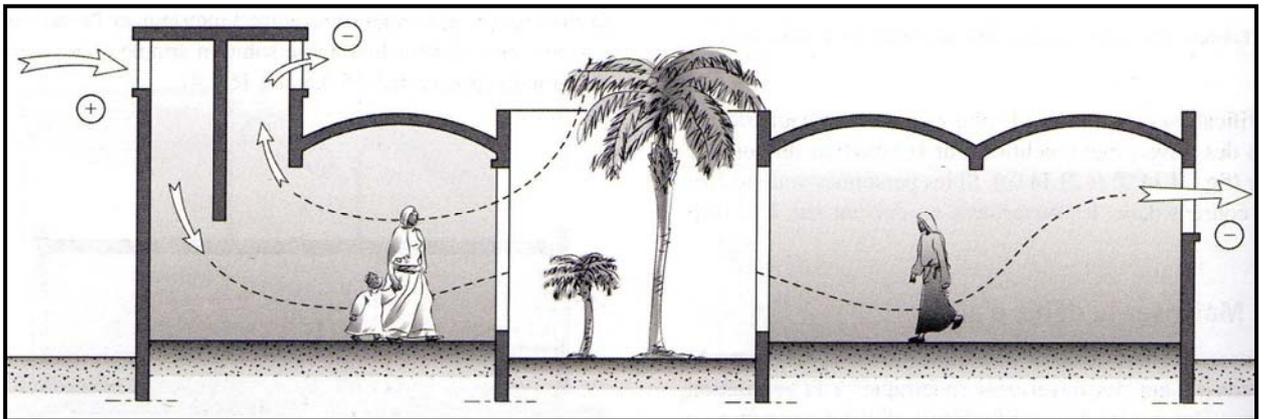


Figure I-22 : principe de ventilation

Source : Fernandez P. et al. 2009

IV-8-1 Fermetures perméables :

Lorsque l'on cherche simultanément la protection solaire (ou la sécurité) et le maintien d'une ventilation, on peut utiliser des fermetures "perméables" à l'air: c'est le cas des persiennes, claustras, moucharabiehs.

L'importance des surfaces sous lesquelles ces éléments sont utilisés dépend de la sévérité des conditions climatiques.

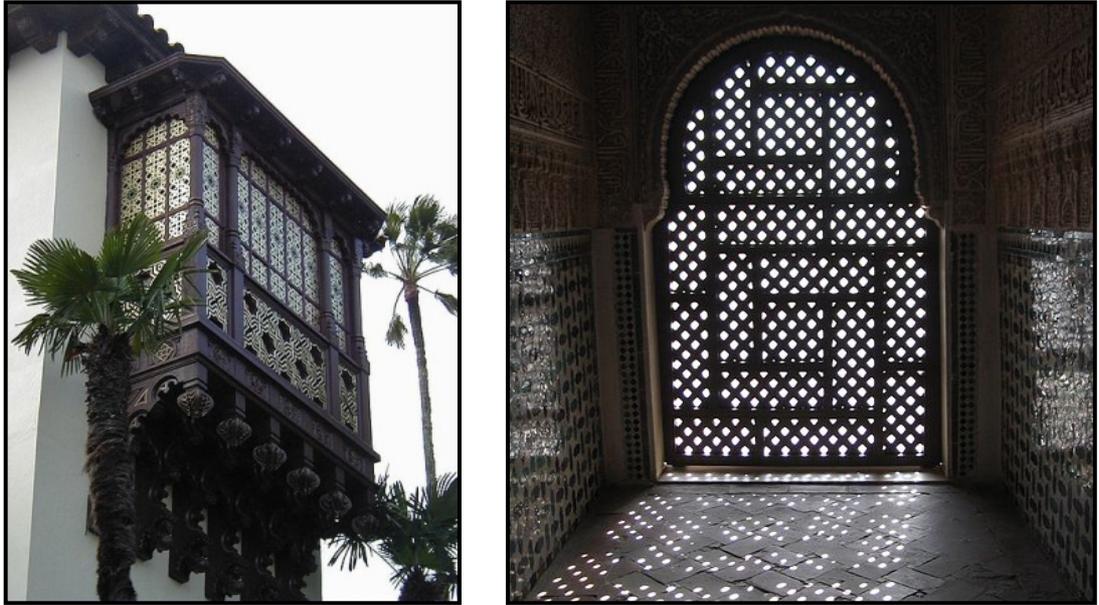


Figure I-23: Type de fermeture perméable (moucharabieh)
Source: Alpheis P. 2003

IV-8-2 Ventilation transversale :

Pour juger du degré d'efficacité de la ventilation, il faudrait que toutes les zones d'un même local doivent être parcourues par l'air en déplacement. Pour cela, certaines solutions peuvent être adoptées par l'architecte, tel que :

- Choix du type d'ouvrants appropriés.
- Les ouvertures doivent être positionnées sur les façades adjacentes ou opposées.
- Les locaux doivent être disposés de telles manières que l'air puisse les traverser de part en part.

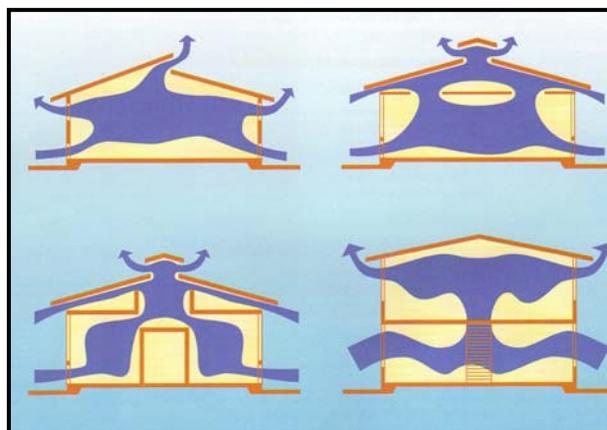


Figure I-24 : Principe d'écoulement d'air
Source: Liébard A. et al, 2005

IV-8-3 Ventilation nocturne :

IV-8-3-1 Effet direct :

Le principe de la ventilation nocturne est intéressant, dès que la température d'air extérieure s'abaisse suffisamment au dessous de la température de l'air intérieur. Cet abaissement est surtout sensible la nuit (température minimale).

2

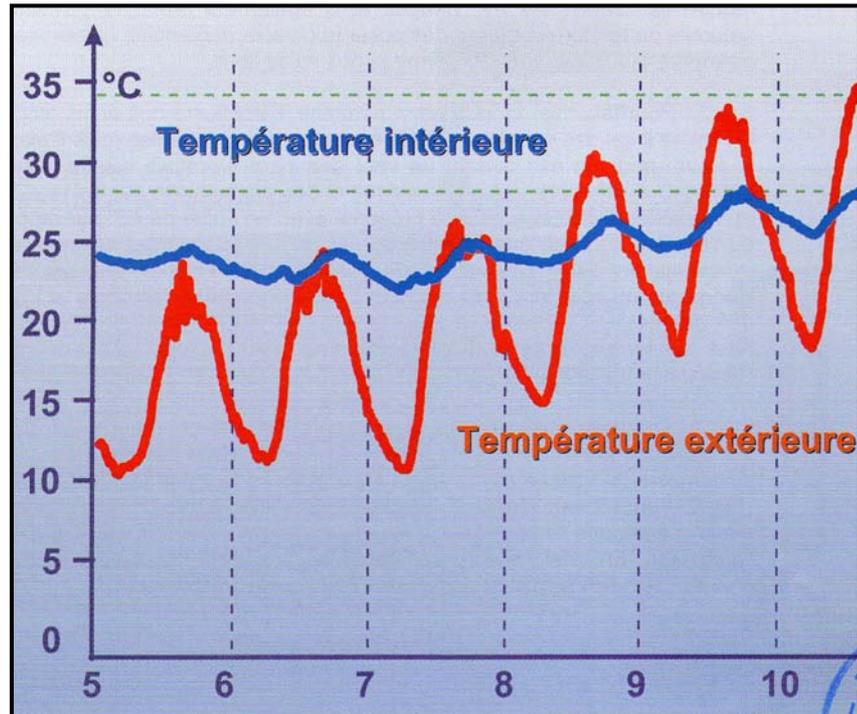


Figure I-25 : ventilation nocturne et rafraîchissement

Source : Liébard A. et al, 2005

IV-8-3-2 Effet combiné avec l'inertie thermique :

L'effet de refroidissement peut se prolonger pendant la journée, de manière d'autant plus sensible que l'inertie est plus forte, du fait que les masses thermiques refroidies peuvent emmagasiner plus de chaleur avant de commencer à transférer celle-ci vers l'intérieure.

A ce propos Izard J.L (1993) a montré qu' « il est possible, dans un climat très chaud, de réduire la température moyenne de 8°C en passant de la faible inertie non ventilée, à la forte inertie fortement ventilée pendant la nuit.

IV-9 Rafraîchissement par rayonnement :

Le rafraîchissement par rayonnement est un moyen efficace d'adaptation de l'architecture aux conditions d'ambiances chaudes. C'est un phénomène (naturel) inévitable, car toute surface émet un rayonnement de grande longueur d'onde vers la voûte céleste, « le flux émis est proportionnelle à la différence des puissances quatrièmes des températures absolues de la surface, et du ciel. » Izard J.L (1993).

Ce rayonnement nocturne est également proportionnel au facteur d'émission des matériaux de constructions qui est élevé (proche de 0,9) à l'exception des métaux. (Givoni B, 1980).

Les surfaces horizontales (toiture terrasse), surface les mieux exposées au ciel, sont celles qui émettent le plus par rayonnement nocturne. Mais malheureusement, ce sont les surfaces les plus exposées au rayonnement solaire, il faut donc les occulter de ce rayonnement.

L'efficacité d'un tel système dépend des conditions atmosphériques. Le ciel doit être totalement dégagé avec une température radiante la plus basse possible. Les conditions sèches sont les meilleures.

Conclusion :

Les études scientifiques ont permis de comprendre le comportement d'une construction soumise à des sollicitations climatiques et d'évaluer par conséquent son rendement thermique. Ces recherches se sont intéressées aux paramètres influents sur le comportement thermique. Elles ont permis de tester scientifiquement, par mesures sur des études de cas ou par simulation, le comportement des constructions traditionnelles et leurs stratégies de régulation thermique.

Ainsi, pour se protéger des radiations solaires directes et des vents chauds, remplis de sables et poussières, des stratégies de conception et de gestion d'ambiance sont nécessaires: la compacité du tissu urbain et du bâtiment, la bonne orientation nord et sud des façades principales et la réduction des façades est et ouest, la grande inertie thermique des parois extérieures (murs et toitures), l'utilisation des rayonnements solaires pour le chauffage passif et les radiations nocturnes pour le refroidissement et l'usage de la ventilation. Ces stratégies s'ajoutent aux stratégies traditionnelles pour aboutir à la conception d'un habitat adapté au climat de la région.

Chapitre V: LA LECON DES ARCHITECTURES SANS ARCHITECTES

V-1 L'approche bioclimatique de l'habitat traditionnel:

Introduction :

Un des moyens d'aborder le problème de conception globale, consisterait selon certains auteurs à faire référence à l'architecture traditionnelle, ceci permettrait de munir les architectes d'outils d'aide analogiques, lesquels sont fondés sur l'observation des qualités climatiques d'habitations anciennes et, sur la recherche de mode d'extrapolation de cet enseignement pour l'habitat moderne. (Auriant, 1979)

N'ayant à leurs dispositions qu'une gamme très réduite de matériaux et de technologies, nos anciens savaient compenser cette simplicité par, une remarquable et intuitive compréhension du climat. Aussi, dans les régions chaudes, l'architecture locale a su faire preuve de sobriété et d'ingéniosité pour se protéger des surchauffes et du rayonnement solaire.

Le génie populaire a ainsi, produit suivant les lieux et l'histoire de l'adaptation au site, des archétypes appréhendables au niveau des programmes de l'organisation interne, de la volumétrie, des percements et des matériaux de construction.

V-1-1 Le choix du lieu:

L'emplacement des groupements habités n'était pas dû au hasard. Tout d'abord, le relief et la direction des vents conditionnaient le plus souvent l'implantation et le plan de masse des villages.

Ensuite, la disponibilité en eau était un facteur essentiel, non seulement pour des besoins humaines, mais aussi parce que sa présence permettait la création d'un microclimat estival supportable, grâce à une végétation abondante et un rafraîchissement.

En orient, les arts antiques du Feng Shui (Chine) et du Ka Sa (Japon) prouvent la grande importance attachée au choix du lieu et à l'étude de ses rapports avec l'homme qui s'y établit.

V-1-2 La structure urbaine: la compacité de rigueur :

Les villes traditionnelles dans les régions chaudes et arides sont caractérisées par une structure urbaine dense. Dans ce type d'environnement, il y'a peu d'espace pour les tourbillons de poussière, de sable et l'éclat du soleil, soucis majeurs dans de tels climats (figure I-21).

Il est caractérisé aussi par des rues étroites, sinueuses et ombragées, amenuisant ainsi le temps d'ensoleillement des façades et empêchant les vents de chasser l'air frais accumulé la nuit, provenant de l'effet du rayonnement nocturne.

Ceci est validé par des mesures réalisées lors des études de cas (Mahimoud A, 2010), qui démontre que la rue dans le tissu traditionnel des régions chaudes offrait un microclimat plus confortable que celui du tissu contemporain.

A l'échelle urbaine la protection du soleil signifie, le choix d'une bonne orientation. D'après (Fardheb F, 1989), les médinas islamiques ont toujours privilégié l'orientation nord/sud pour que les façades est-ouest englobent les cloisons communes qui reçoivent le minimum de soleil.

Quant à la protection du vent, les maisons n'étaient pas orientées dans le sens du vent, ni face à lui (ce qui crée des accélérations, des tourbillons forts et peu agréable), mais souvent orientées à 20° ou 30° par rapport aux vents dominants : l'écoulement plus régulier de l'air provoque alors des différences de pression permettant une ventilation efficace des habitations. D'autres études affirment que la différence de température dans un tissu urbain dense et un autre éclaté varie entre 3 à 5°c (Salve C, 1986), et que les gains de chaleur peuvent être réduits de 20% (Alexandre G et J.M, 1982).

La forme urbaine compacte dans les régions aride consomme moins le soleil, du fait que la nature du revêtement du sol autour des maisons a également un impact sur la température autour et à l'intérieur de la maison (l'albédo du sol) un revêtement minéral (asphalte, ciment,

dalles en pierre) absorbe et accumule le rayonnement solaire pendant la journée, et le restitue en partie sous forme de chaleur (rayonnement infrarouge) pendant la nuit (Konia A, 1984).

Aussi, ces formes permettent le maintien de l'air humide nocturne ou de l'évaporation locale nécessaire au confort en périodes sèches, cet effet et ressenti quand le couvert végétal est intégré à l'environnement urbain.

Souvent des galeries entourent des places et les espaces publics, offrent de l'ombre et de courant d'air qui favorise la rencontre, le repos, le travail et le commerce.



Figure I-26 : La forme urbaine compacte

Source : www.declubz.com

V-1-3 L'influence de la forme et du volume :

Le premier niveau d'adaptation au climat est celui de la détermination des masses des bâtiments ainsi que leurs contours extérieurs. Quand les maisons sont isolées, il est essentiel que le rapport du volume construit à la surface d'enveloppe soit le plus élevée possible (Abdulak S, 1973).

Les meilleurs exemples de ces types d'habitation se trouvent au Maroc pré-saharien, au Yémen ou en Arabie Saoudite, ceci implique des logements vastes, ayant un grand nombre de niveau (figure I-22).

Quand les habitations sont accolées les unes aux autres horizontalement cela peut diminuer les possibilités d'ouverture sur l'extérieur et réduire les surfaces d'ensoleillement mais généralement les maisons y sont introverties et disposent d'un espace intérieur ouvert sur l'extérieur: le patio.

D'après Olguay V, (1963), dans les climats chaud et aride, la forme optimale d'un corps de bâtiment correspond à une forme compacte et simple, ayant un rapport surface/volume d'autant plus petit, ce qui revient à dire qu'une grande habitation possède moins de surface extérieure.

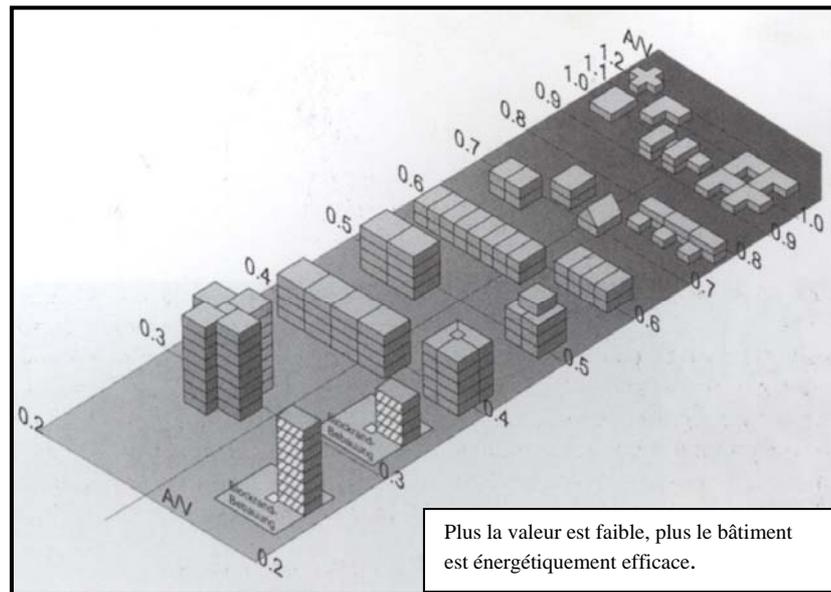


Figure I-27 : rapport entre la surface de l'enveloppe et la surface utile du bâtiment

Source : Sorlarbüro et al. 1997

Afin de préserver la fraîcheur, Evans (1980) a recommandé un facteur de forme élevé, une profondeur de bâtiment assez grande, et une hauteur sous plafond moyenne de 2,80m.

La toiture terrasse qui constitue une caractéristique architecturale typique des régions chaudes, résulte un déphasage thermique plus long, grâce à son épaisseur et la densité des matériaux de construction, ainsi que l'ombre portée par la hauteur des parapets ou des édicules qui les entourent. ((Arbaoui A, 1992)

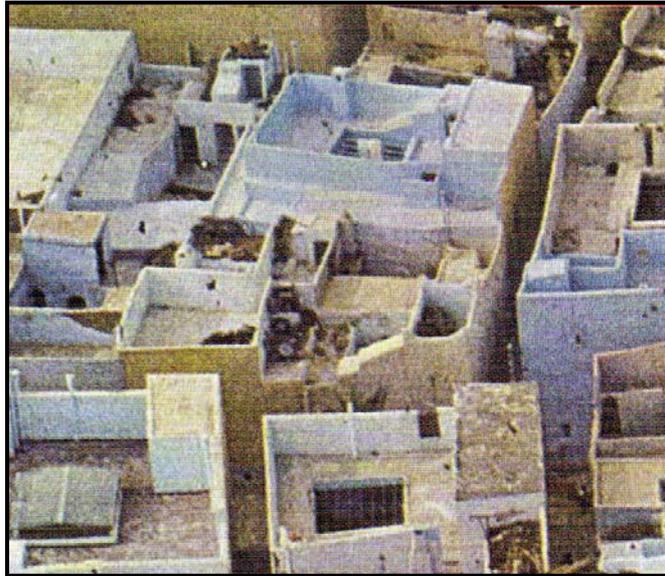


Figure I-28 : L'ombre portée par la hauteur des parapets

Source : Liébard A. et al, 2005

Il est à rappeler que la voûte est un élément architecturale important, car son existence dans la construction saharienne n'est pas un hasard du fait que, les toits voûtés se trouvent continuellement sous l'influence du vent, ce qui diminue la chaleur d'été, ainsi, l'influence du rayonnement solaire diminue quand il frappe la forme arrondi car, elle ne recevra que le tiers de radiation par unité de surface. Du fait de sa plus grande surface, l'aire d'une demis sphère est triple de celle d'une terrasse plate), elle émettra d'avantage de radiation vers le ciel et se refroidir plus vite. (Allexandroff J.M, 1997)

Donc durant la nuit, ces toits se refroidissent plus vite ce qui diminue la température intérieure.

V-1-4 La cour et son rôle régulateur thermique :

Le concept de la maison à cour est, généralement appliqué aux maisons traditionnelles du monde islamique, elles sont typiques du climat chaud et aride. Ce type de construction est caractérisé par l'introversion, donc le patio (cour) joue le rôle d'ouverture centrale.

Morphologiquement, le patio peut être différent, suivant les dimensions, le volume, la profondeur etc. mais son étroitesse –rapport entre sa hauteur et sa profondeur- lui permet de

demeurer dans l'ombre pendant une bonne partie de la journée, il bénéficie donc d'une température nettement plus basse que la température extérieure.

D'après Bahadouri (1978), l'effet de régulateur de la cour sera plus amélioré quand cette dernière est plus profonde.

La cour fonctionne alors comme un puits de fraîcheur au profit des pièces qui l'entourent, car durant la nuit, par les radiations vers le ciel, l'air frais nocturne descend peu à peu pénétrant dans la cour et stagne dans le fond, envahissant ainsi toutes les pièces qui l'entourent. La structure à grande masse thermique absorbe cette fraîcheur et la retient jusqu'à la mi-journée, ce qui permet à de diverses activités de la maison de se dérouler. Dans la journée, le soleil étant haut, l'air frais stocké dans la masse de la structure commence à s'élever, et crée de ce fait, un courant d'air qui provoque un certain confort. Quand la température extérieure est élevée, les grandes masses thermiques des murs, par le biais du déphasage de plusieurs heures, retarde la chaleur pour ne pénétrer à l'intérieur des chambres qu'au soir. A la tombée de la nuit, la température descend rapidement, la maison a patio est toujours à l'ombre, car la hauteur du patio est supérieure à sa longueur. La surface de la terrasse qui reçoit plus de radiation solaire est protégée par la hauteur des parapets construits pour réduire l'exposition au soleil en dehors du Zénith.

Grâce à ces projections géométriques est une orientation étudiée, la maison à patio est un système idéale de défense contre l'environnement extérieur. Ainsi, la majorité des patios de la médina de Tunis sont orientés nord-est sud-ouest et sud-est nord-ouest. Ces directions à 45° sont optimales pour la production de l'ombre en été et l'ensoleillement en hiver (Fardheb F, 1989).

Le rôle de régulateur thermique assuré par la cour sera très efficace lorsqu'elle est renforcée par l'utilisation par des dispositifs d'humidification telle que l'eau, la végétation etc.



Figure I-29 : dispositifs d'humidification (eau et végétation)

Source: Liébard A. et al, 2005

V-1-5 Le régulation thermique :

Dans les climats chauds et arides, la régulation thermique peut être obtenue par l'eau, la végétation et la ventilation qui peut accélérer l'évaporation.

V-1-5-1 Rafraîchissement par évaporation :

Dans l'architecture traditionnelle, l'introduction de procédés humidifiant l'air, apportent une sensation de fraîcheur due à l'évaporation de l'eau qui agit sur les facteurs de confort thermique, car, elle abaisse la température ambiante tout en augmentant l'humidité relative de l'air rempli de sable et de poussière (figure I-24).

L'eau intervient souvent dans les modèles des régions sèches, dans la cour, elle peut être :

- Stagnante, elle constitue alors un véritable échangeur de chaleur, si sa masse est suffisante et si les parois du bassin ont une forte émissivité, favorisant le refroidissement nocturne.
- Ruisselante en mince pellicule, et coulait le long d'un plan vertical à peine incliné appelé silsabil, puis traversait une partie de la maison dans des caniveaux découverts et peu profond avant d'aboutir dans un bassin.

- Vive s'écoule dans des canaux et des rigoles.

Au Caire et à Damas, l'eau jaillit au milieu de certaines pièces intérieures ouvrant sur un espace en contrebas faisant bassin duquel coule l'eau en cascade.

V-1-5-2 Le rôle de la végétation :

La végétation, élément de protection solaire contribue au confort thermique par l'ombre et l'humidification de l'eau qu'elle procure en été. En plus de l'agrément pour la vue et l'adorât, elle offre un intérêt pour la régulation thermique des habitations et ses abords, en constituant d'une part un parasol efficace contre le rayonnement solaire intense (figure I-25), et d'autre part, contre le vent en abaissant sa fréquence. La végétation est, aussi un véritable filtre à particules, à 3km d'une source, une végétation dense filtre jusqu'à 75% des poussières contenues dans l'air (Musset. P, 1987), elle permet de ventiler les habitations par rapport de fraîcheur en évaporant l'eau qu'elle contient (figure I-26).

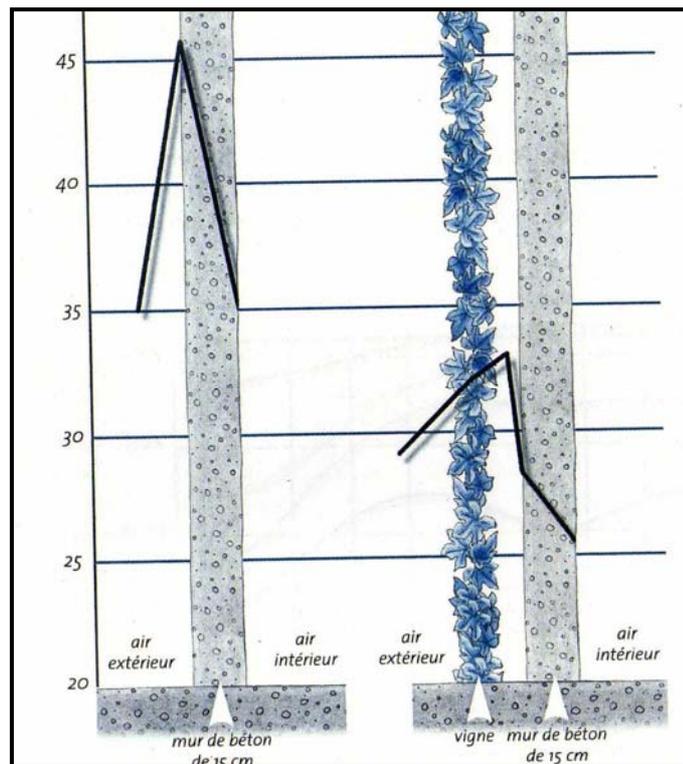


Figure I-30 : une protection végétale abaisse nettement la température d'un mur exposé au soleil.

Source : Salomon Th. et al. 2006

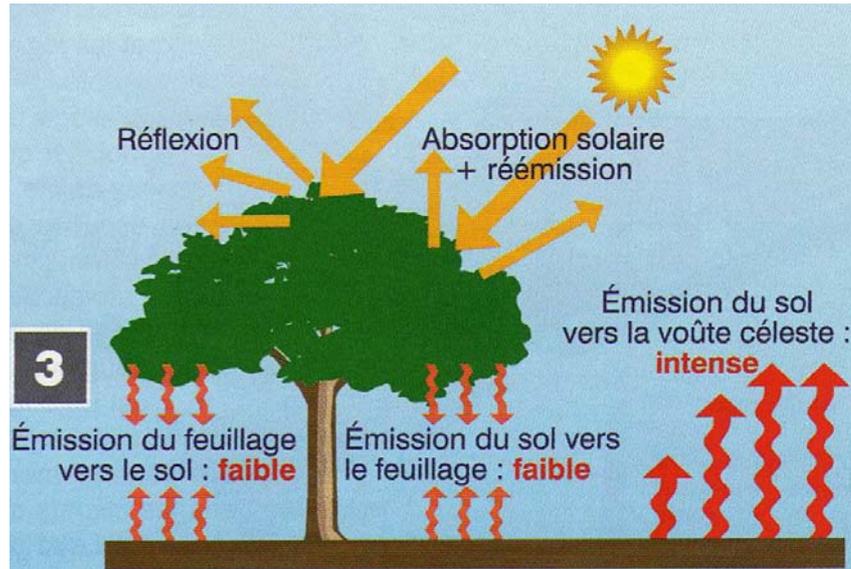


Figure I-31 : action d'absorption et de réémission du rayonnement solaire

Source : Liébard A. et al. 2005

Au niveau du patio, la végétation peut constituer un microclimat, rares sont les cours où l'on ne rencontre pas un arbre, un buisson, une plante grimpante. Rappelons que les atriums des maisons romaines n'avaient qu'une façade minérale (figure I-27).

Dans les villes très denses comme le Caire, un jardin suspendu était aménagé sur les terrasses.

La fraîcheur de la végétation est très appréciée et ce sont les essences caduques qui sont préférées, car en hiver, elles permettent la pénétration du soleil, et en été procure de l'ombre.

L'utilisation de la végétation, comme de l'eau d'ailleurs, se trouve donc à toutes les échelles de l'aménagement de l'habitat, de la ville noyée dans la verdure à l'oranger dans un pot au coin d'une petite cour.



Figure I-32 : l'ombre procurée par la végétation

Source : auteur 2010

V-1-6 La ventilation (système de climatisation naturelle) :

Dans les climats chauds et arides, on utilise le rafraîchissement par convection sous forme d'évacuation nocturne qui est le moyen le plus aisé de rafraîchir un intérieur et ses occupants.

C'est à travers la conception des ouvertures, ces percements contrôlables que l'on relève l'éventail des choix possibles. Izard J.L, reconnaît que le dosage des ouvertures en façade, leurs dimensions et leurs équipements complètent les principes qui font des parois de l'habitation, des diaphragmes sélectifs pour une climatisation passive efficace (Izard J.L, 1979).

A cet effet, la fenêtre a été traitée de manière très ingénieuse, cette dernière est constituée par une ouverture de petite dimension qui pouvait être consacré exclusivement à la vue vers l'extérieur. Une autre généralement située à une hauteur élevée ou très basse servait respectivement à l'évacuation de l'air chaud et à la pénétration de l'air frais.

Selon Abdulac, les constructeurs traditionnels des pays arabe n'éprouvent pas la nécessité de donner toutes les fonctions à une ouverture. Au contraire, ils préféraient généralement utiliser différents éléments pour remplir chacune de ses fonctions (Abdulac S. 1987).

Dans la plus part des régions chaudes, les pièces sont haute et présentent, souvent, dans la partie supérieure des murs extérieur des trous permettant la formation d'un circuit d'air en conjonction avec les ouvertures normales (portes et fenêtres).

Un autre type d'ouverture, c'est le moucharabieh qui permettait de disposer d'ouvertures des grandes dimensions, il est constitué de sorte de lattis de bois qui permet de se soustraire au regard et permet d'obtenir une bonne ventilation naturelle sur la façade extérieure sans avoir à souffrir d'une élévation excessive de la température intérieure par rayonnement ou convection (le bois ne s'échauffe pas beaucoup au soleil). Il permet aussi la pénétration de la lumière diffuse, non éblouissante. (chapitre IV, §4-1)

Enfin, d'autres éléments architecturaux induisant le confort thermique qui sont:

a- Les capteurs à vent "Malquaf": leurs principe est double, ce sont des dispositifs destinés à profiter des vents frais, s'élèvent sensiblement pour échapper aux poussières et avoir une vitesse d'air suffisante pour générer un flux, puis l'humidifier pour le refroidir par évaporation. "Cela se fait au moyen d'échangeurs que Hassan Fathi appelle de (déflecteurs), où l'eau s'écoule en cascade à travers des mailles métallique et des bacs remplis de charbon de bois. Dans certain cas le système peut être complété par un bassin avec ruissellement (Salsabil)".

b- Tour à vent "Badgir": se substituent aux Malquaf; elle est divisée en plusieurs passages d'air verticaux, selon les diverses directions du vent et peuvent être en nombre de quatre, six, ou huit. Elles peuvent être associées à des procédés d'humidification de l'air. Cette thermique est rencontrée en Egypte, Irak, Doubaï et à Pakistan (figure I-28).

Les trous à vent sont différents des cheminées par leur forme et leur subdivision interne.

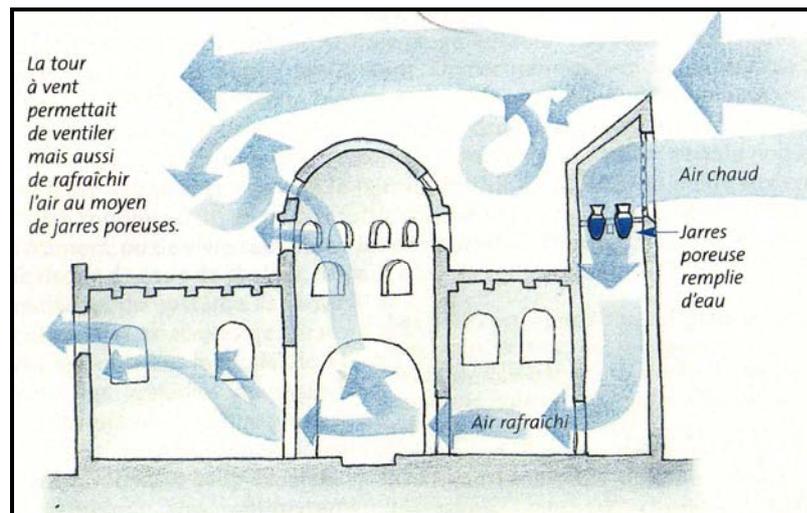


Figure I-33 : la tour à vent

Source : Aubert C. et al. 2006

V-1-6-1 Le puits provençal :

Le provençal, variante estivale du puits canadien, est une méthode remarquable efficace pour rafraîchir l'air même par forte canicule.

Il s'agit d'une technique ancestrale, dont le principe- d'une grande simplicité- repose sur le fait que la température du sol, au-delà de 1.5 mètre de profondeur, ne varie que de quelques degrés au cours de l'année. En été, elle est donc plus basse que celle de l'air extérieur. Celui-ci peut

donc être refroidir en permanence s'il circule, avant de pénétrer dans l'habitation, dans des tuyaux enterrés à cette profondeur (figure I-29).

L'équipement nécessaire pour une maison individuelle consiste en une canalisation de forte section (par exemple en PVC de 160 à 250 mm de diamètre) placée dans le sol, à une profondeur de 1.5 à 2.5 mètres, sur une longueur d'au moins 25 à 35 mètres. L'air extérieur est insufflé dans ce tuyau par un ventilateur avant de pénétrer dans les locaux à rafraîchir. Ce parcours souterrain suffira à lui faire perdre environ 5 à 9°C, si l'air extérieur est exemple à 30°C, l'air qui pénétrera dans la maison sera à environ 22°C (figure I-30).

Le puits provençal est performant : son coefficient de rendement énergétique est le plus souvent supérieur à trente, ce qui revient à dire que l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement est dix fois mieux employée qu'avec un climatiseur.

Il est aussi écologique : il n'utilise pas de compresseur, ne consomme que quelques dizaines de Watts pour le ventilateur, et n'utilise pas de fluides frigorigènes.

Enfin le cout d'un puits provençal est faible : il est principalement conditionné par le cout de creusement des tranchées nécessaires.

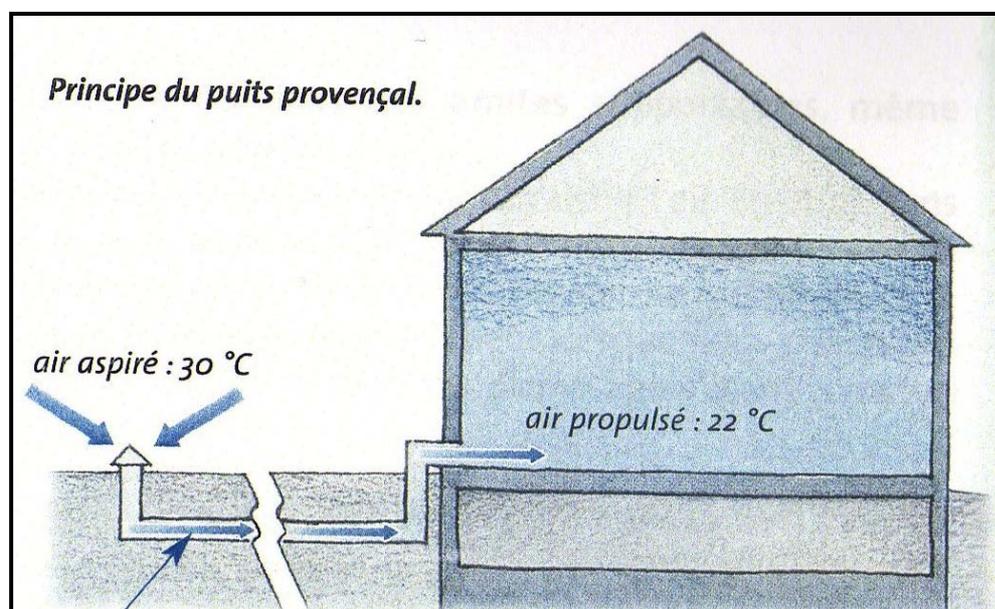


Figure I-34 : puits provençal

Source: Salomon Th. et al. 2006

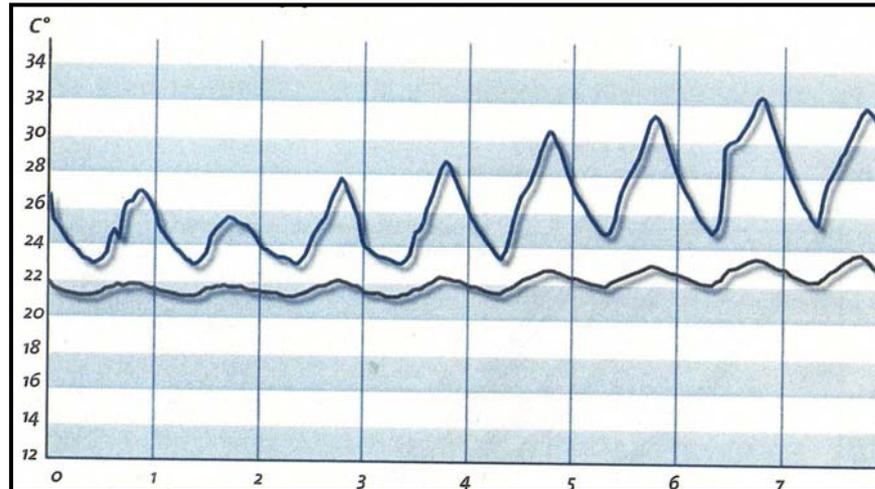


Figure I-35 : effet du puits provençal sur la température

Source: Salomon Th. et al. 2006

V-1-7 L'urbanisme et l'architecture troglodytique :

D'après la définition de Loubes J.P 1984, l'habitat troglodytique est un thermostaté dans les régions où règne de fortes tempêtes de sable, des étés chauds et des hivers froids. Il recouvre l'ensemble des habitations humaines situées dans le sous-sol et qui sont le résultat de l'utilisation de cavités naturelles ou d'une excavation volontaire.

La condition principale à ce type d'habitat réside, dans la présence d'un sol tendre et exempt d'humidité, car, l'habitat enterré se caractérise par la disparition de la notion de façades exposées à l'extérieur et par, une augmentation considérable de l'inertie thermique de l'enveloppe grâce à la présence du sol lui-même. Ainsi l'amplitude de température journalière est totalement ignorée. Ce qui nous permet de dire que ce type d'habitat semble le plus évident, compte tenu de l'excellente réponse de cette technique à des climats excessifs.

La répartition des troglodytes, traduit bien la préoccupation de protection contre les climats trop chauds ou trop froids. En effet, la zone de concentration de ce type d'habitat est la région aride du bassin méditerranéen: Espagne, Turquie, Tunisie (Chenini, Matmata), Egypte (Sina); puis le climat continental froid: Hongrie, Autriche, France; et enfin les zones semi-arides: indiens, Pueblos (U.S.A.).

Dans toutes ces régions qu'on vient de citer, il existe certaines différenciations dans la nature du sol et la technique utilisée.

Selon la configuration naturelle exploitée, on peut distinguer, le cas où on creuse horizontalement, mais il y a aussi des troglodytes réalisés en profondeur autour d'un puits central, le cas de Matmata, dans le sud tunisien, les habitations construites autour d'un puits central d'environ de dix mètres de profondeur, les pièces sont creusées autour de ce patio, quelques fois sur deux niveaux. L'intérêt de ce type d'habitation apparaît vis-à-vis de l'aridité du climat, car le patio permet d'augmenter l'ombre portée, et la stratification de l'air frais au fond du patio diminue sensiblement la température d'air ambiant et, les vents violents chargés de poussières n'ont aucun effet sur le microclimat de ces habitations.

V-1-8 Les matériaux traditionnels: une efficacité prouvée :

L'enveloppe est généralement caractérisée par des murs d'une épaisseur importante qui est constituée en générale par des matériaux locaux, du à la présence de gisements d'argile et de gypse ce qui a favorisé l'usage de matériaux tel que le toub et le timchent, qui se caractérisent par les propriétés thermophysiques qui sont, la résistance thermique et la capacité calorifique. Ces matériaux idéaux offrent une grande capacité calorifique, favorisant une absorption du rayonnement solaire diurne et une restitution lente et déphasée de la chaleur de nuit.

A ce titre J.M. Fitch et D. Branth, précisent en effet que "l'argile et la pierre sont les matériaux de plus grande capacité calorifique ceux-ci sont abondants en région désertique et c'est précisément en les utilisant que toute les peuplades primitives du monde ont érigé leurs demeures". (Fitch J.M, et al, 1960)

V-2 Exemples d'architecture contemporaine :

L'architecture traditionnelle "vernaculaire" avait répondu à une grande partie des exigences de confort en climat chaud ou en période d'été des climats tempérés.

Qu'en est-il de l'architecture contemporaine ?

On peut dire qu'à côté de réalisations parfois irrationnelles des édifices contemporains, basées sur l'usage de grandes surfaces vitrées et cédant sans hésitation à la mode "high tech", il existe des réalisations beaucoup plus raisonnables, qui reprennent parfois les solutions héritées de la tradition.

Nous présentons dans ce qui suit des bâtiments conçus par des architectes connus, ces derniers ont pris en compte des contraintes et des potentialités locales, et rendent d'actualité des concepts d'une architecture que l'on estimait alors dépassé.

V-2-1 Combinaison des concepts : aération, protection et rafraîchissement :

Exemple: Bureau de Datagroup à Pliez hausen, Allemagne :

Le bâtiment se compose de trois étages de bureaux paysagers qui s'ouvrent sur l'atrium. Volume compact, forme circulaire réduit les façades, sources de déperdition thermiques. Pour éviter l'ensoleillement direct, de profonds balcons en bois et de larges débords de toiture assurent une protection solaire.

Exploitation de l'inertie thermique des murs et des planchers en béton.

En hiver, le chauffage est presque superflu, à cause de la forme compacte, l'isolation renforcée des parois ainsi que les apports internes.

L'été, l'air refroidi dans le puits canadien est brassé au petit matin pour abaisser la température des éléments en béton et stocker la fraîcheur, l'air vicié est récupéré sous les planchers. L'hiver, il passe dans un échangeur, où il chauffe l'air neuf avant d'être évacué en toiture. Dans l'atrium, de l'eau fraîche ruisselant le long d'une des parois en béton participe au confort hygrométrique.

Les mesures essentiellement passives, peu coûteuses et simples d'emploi, limitent la consommation annuelle pour le chauffage et le refroidissement de l'air à 35kwh/m², et les économies annuelles sur la consommation d'énergie sont d'environ 10.000 euros.

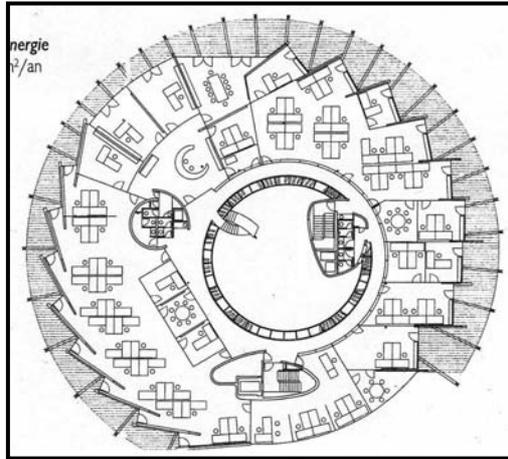


Figure a: plan

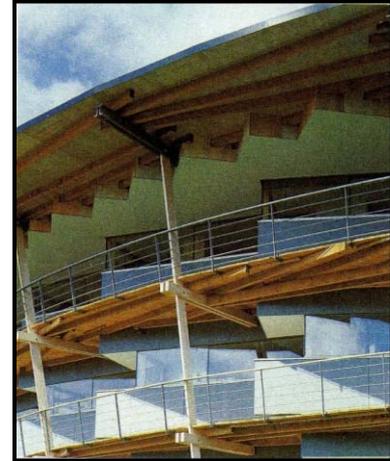


Figure b: vue d'extérieure

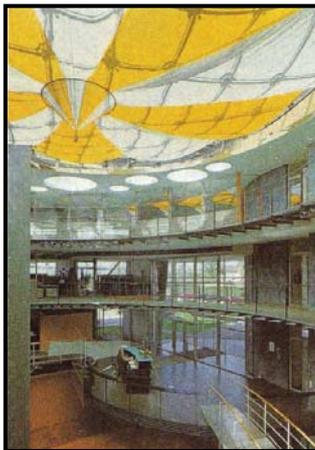


Figure c: vue d'intérieure

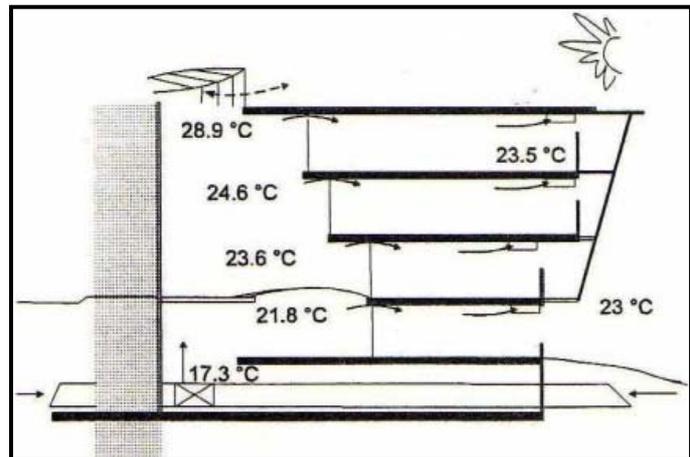


Figure d: coupe

Figure I-36 : bureau de Datagroup Allemagne
Source: Gauzin M. 2008

V-2-2 Utilisation contemporaine de la ventilation et masse thermique :

Exemple: Siège administratif de Iguzzini à Recanati, Italie :

L'immeuble, de plan rectangulaire est organisé autour d'un atrium contenant un jardin. Le bâtiment se compose de trois niveaux de plateaux libres, aménagés en bureaux paysagers et partiellement clos. La direction de l'entreprise est située en attique avec terrasse.

Cette dernière est couverte par un dispositif de protections solaires horizontales, s'avance en surplomb sur 6,7m et retombe sur 3,7m devant la façade, l'atrium est couvert par les linteaux qui assurent la lumière zénithale et la ventilation naturelle.

La surface ouverte en toiture équivaut à la moitié de la surface des ouvertures en façade.

La combinaison, utilisant le gradient de température entre l'air ambiant de l'atrium et les arrivées d'air frais en façade, permet une ventilation transversale naturelle.

La masse thermique de la structure fonctionne en conjonction avec les principes de ventilation naturelle : elle est rafraîchie la nuit quand les locaux sont vides et contribue à éviter les surchauffes durant les périodes d'occupation.

Les consommations d'énergie sont réduites de plus de 70% par rapport à un immeuble de bureaux standard.

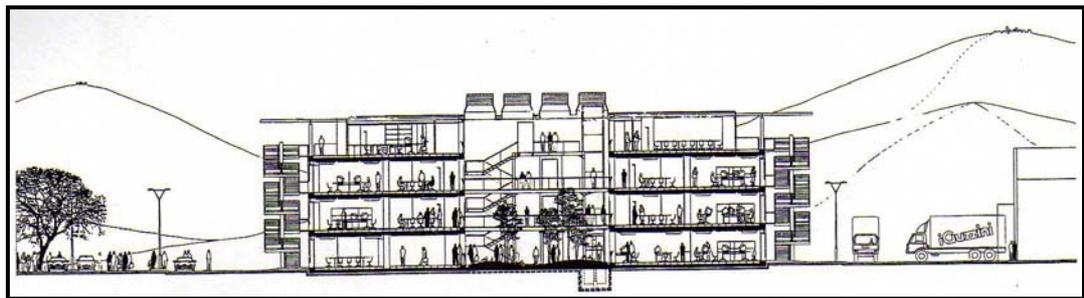


Figure a: coupe



Figure b: vue d'intérieure

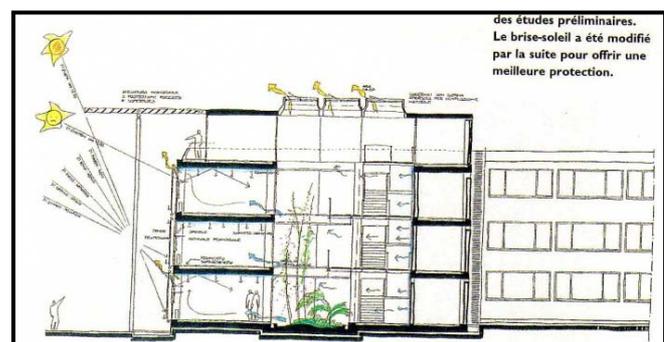


Figure c: coupe (principe de la ventilation et l'ensoleillement)

Figure I-37: siège administratif de Iguzzini Italie

Source: Gauzin M. 2008

V-2-3 Utilisation contemporaine du concept de l'inertie thermique :

Nature des parois ou inertie thermique

Exemple: Centre culturel et social Bandiagara, Mali :

Réalisé en 2008, c'est le plus récent projet de Fabrizio Carola.

Le centre se compose de plusieurs hameaux : unités d'hébergement, salles de cours et ateliers, salles communes pour les repas et les activités.

Le centre est un lieu d'échange euro-africain, où les professionnels européens en retraite viendront former des jeunes maliens.

L'utilisation de matériaux locaux est la matière principale caractéristique du projet. Les briques d'argile crue qui vont servir pour les murs d'enceinte sont produites et séchées sur place. A quelques kilomètres, les carriers extraient les pierres, livrées brutes sur le chantier où elles seront taillées.

Dans ce cas, l'utilisation des matériaux de construction tels que, la pierre naturelle et l'argile qui, se caractérisent par une forte capacité calorifique et une faible conductivité thermique, et avec des murs massifs donc, une inertie thermique plus grande, ce qui conserve à l'intérieur des constructions une ambiance plus confortable durant les grandes chaleurs.

La protection des ouvertures est assurée par l'épaisseur des murs qui procure de l'ombrage.

Le chantier ne consomme pratiquement pas d'énergie. Le projet s'organise autour du concept de développement durable, du moment que les matériaux et procédés de construction préservent les ressources de notre planète et privilégient pas d'énergie.

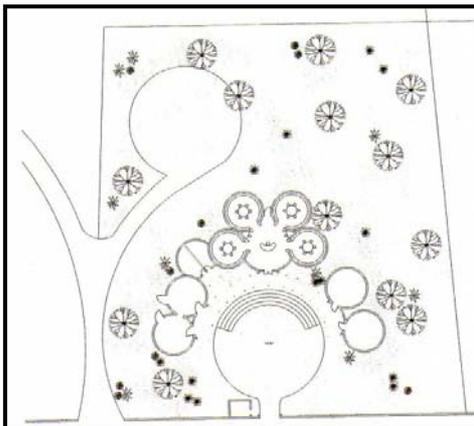


Figure a: plan



Figure b: vue d'ensemble

Figure I-38 : centre culturel et social Mali
Source: Contal M.E. et Al. 2009

V-2-4 Utilisation contemporaine des éléments de l'architecture arabo-musulmane :

Exemple: Institut du monde arabe

L'institut du monde arabe (siège IMA), est un institut culturel parisien consacré au monde arabe.

L'édifice a été conçu par un groupe d'architectes français, le bâtiment constitue une synthèse allégorique entre conception architecturale d'orient et d'occident. C'est un lieu unique par la modernité de son architecture.

Ce projet se base sur deux éléments: d'une part, la modernité de l'édifice, symbole de la volonté de modernité des pays arabes eux même.

D'autre part, au-delà de cet aspect "high tech" de nombreuses références à cette civilisation sont présentes. Les architectes ont repris des éléments de l'architecture arabo-musulmane, mais en proposant à chaque fois une relecture, une adaptation de ces éléments à l'architecture ou à l'époque actuelle.



Figure a: vue d'ensemble



Figure b: coté extérieur du moucharabieh

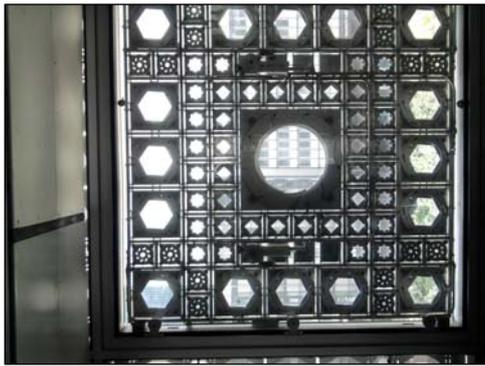


Figure c: les diaphragmes de la façade sud



Figure d: vue d'intérieur

Figure I-39 : institut du monde arabe Paris

Source: auteur 2012

En effet, une série d'éléments architecturaux issus de la tradition orientale font l'objet d'une réinterprétation : moucharabiehs, Ryad (cour intérieure). Ziggourat de la tour des livres.

La façade sud de l'IMA est composée de 240 moucharabiehs, dont le mécanisme est actionné électroniquement. L'ouverture des diaphragmes est réajustée toutes les heures pour s'adapter à la luminosité extérieure et créer un jeu de lumière à l'intérieur du bâtiment, aussi l'ouverture se fait en fonction de l'ensoleillement afin de remplir le rôle de régulateur thermique.

V-2-5 Le contact avec le sol (le principe de l'hyper-inertie) :

Exemple: Projet 222 située en bordure du parc national du pays des galles

Application des concepts durables de l'architecture millénaire

Le projet 222 est conçu pour ce fondre au fil du temps dans le vallonnement des falaises galloises.

L'élément architectural dominant, la façade vitrée à l'ouest.

Cette maison, peut être l'un des exemples les plus extrêmes d'architecture paysagère.

Future système a progressivement créé une œuvre qui bouscule les typologies habituelle de la construction.

Le projet 222, fait partie du paysage. Cette idéale intégration étant obtenue par la réunion de matériaux et de solution en eux même très simple.

L'unique façade est dotée de hublots ouvrant assurant une ventilation transversale.

La transparence complète de la façade ouest, qui révèle tout du volume intérieur enterré, n'en est que plus étonnante.

Bien que remblayage de près de la moitié du périmètre extérieur de la maison lui procure une bonne protection thermique.

Le projet 222 pose la question d'"étique écologique" car toute les stratégies destinées à conserver au paysage son aspect naturel intact. Ce qui permet des projets écologiques visant à préserver à long terme l'environnement naturel.

La structure se compose d'un simple mur de soutien en gros appareil remblayé de terre. L'arrière du bâtiment disparaît sous des talus envahis d'herbes.

Seuls, l'entrée de la maison, située à l'arrière entre des talus d'herbes, signale aux abords du site une présence architecturale et humaine.



Figure a: vue extérieure

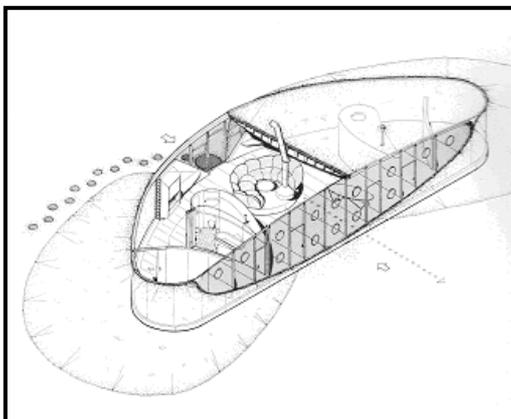


Figure b: vue d'intérieure

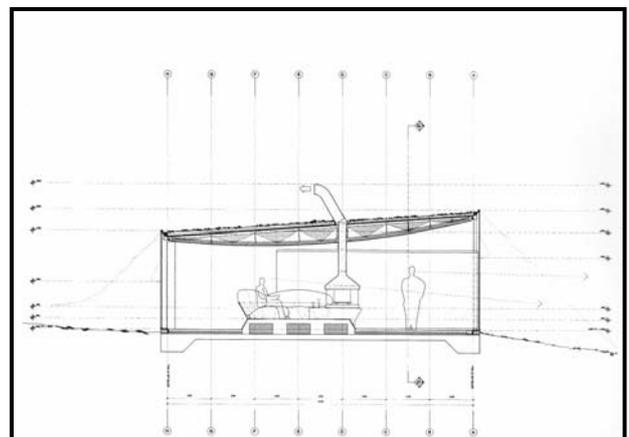


Figure c: coupe

Figure I-40 : Projet 222 Pays des Galles

Source: Farel A. 2007

V-2-6 Compacité et inertie thermique :

Exemple : Ksar Tafilalt : Beni Iezguen Ghardaïa-Algérie : du 1997 au 2006

Une expérience humaine très particulière par ses approches: social, urbanisme et écologie.

Le projet s'appuie sur l'interprétation consciente de l'héritage architectural ancien, et reprendre ses règles millénaires en les adaptant à la modernité.

Il vise également, la restauration de certaines coutumes ancestrales qui ont permis au M'Zab de suivre dans un environnement hostile, et de bâtir ce qui est maintenant mondialement connu comme étant, une architecture millénaire digne de l'appellation "développement durable".

Ces références se trouvent dans :

- Idées de l'approche écologique.
- Les concepts durables de l'architecture millénaire.
- Les normes et les exigences du confort de l'habitat contemporain.
- Les bases de l'architecture bioclimatique.
- Utilisation optimale des matériaux locaux (pierres, plâtre, chaux, etc.).
- Amélioration des procédés de la construction, ainsi que la conception des habitations.
- Préserver l'équilibre fragile de l'écosystème de la vallée du M'Zab.

Le mode d'urbanisation choisi est le plus approprié à l'environnement saharien, à savoir le type Ksourien, qui se définit par les caractéristiques suivantes :

- La conception du tissu.
- La structure organique des espaces publics.
- Respect de l'échelle humaine.
- Hiérarchisation des espaces.
- Adaptation aux commodités de la vie contemporaine.



Figure a: vue aérienne



Figure b: vue d'ensemble



Figure c: une ruelle



Figure d: intérieure d'une maison

Figure I-41 : Ksar Tafilalt : Beni Iezguen Ghardaïa-Algérie

Source: site WWW. Ksart Tafilalt

Conclusion

Ce long exposé où l'on a fait ressortir les différents paramètres qui, serviront à une conception bioclimatique qui, est une sorte de compris dont les données sont un climat, un site, une culture, des matériaux et des notions de confort. Cela nous a permis de voir toutes les leçons que pourra en tirer le concepteur dans la recherche du confort humain, en fonction de la qualité thermique du bâtiment.

La première conclusion de cette partie nous montre que, le maintien de l'équilibre thermique entre le corps humain et son environnement est l'une des principales exigences pour la santé, le bien être et le confort. Les conditions dans lesquelles on obtient cet équilibre, et l'état du corps lorsqu'il atteint l'équilibre avec l'environnement, dépendent de la conjugaison de nombreux facteurs, certains de ces facteurs sont d'ordre individuel et d'autres sont des facteurs de l'environnement, (climat et ambiance).

L'ambiance interne d'une construction est, une extension modifiée du climat extérieur dont les interactions sont continues. Ces interactions impliquent un transfert d'énergie à travers la paroi de la construction.

Ces transferts d'énergie sont des processus qui se produisent simultanément dans deux directions. Le rayonnement est absorbé et réfléchi. La chaleur est transférée par conduction et convection à travers la masse du mur, la chaleur est absorbée puis relâchée.

En effet, nous avons pu constater la mise en œuvre des éléments du bâtiment (parois opaques, parois transparentes, toiture, etc.); jouent un rôle très capital dans les échanges thermiques avec l'environnement, mais aussi, dans la gestion des flux de chaleur de diverses origines, qui circulent à l'intérieur du bâtiment.

L'apport et le rejet de chaleur à travers les éléments de construction différemment constitués, orientés et localisés expriment de périodicités directionnelles et quantitatives. Le contrôle climatique consiste donc en la modulation de ces formes de transferts, qui peut se réaliser de différentes façons. En effet, avec une inertie thermique adéquate et grâce à une grande capacité thermique, l'édifice pourrait alors absorber ou perdre de grandes quantités de chaleur sans changer de température.

La fonction thermorégulante des éléments du bâtiment permet, une fonction de captation du rayonnement solaire et d'échange de ce dernier, avec l'ambiance à travers une conception appropriée de leur forme, matériaux, mode d'agencement, couleur extérieure, texture, orientation, etc.

Les facteurs de conception peuvent être manipulés pour tout projet quel que soit son ambiance, de façon à ce que le même projet peut à la fois, participer à l'augmentation de la température intérieure grâce à la fonction de captation et de stockage, pendant la période de chauffe. Comme il peut aussi empêcher la pénétration de la chaleur à travers l'enveloppe, pendant la période chaude et, l'évacuer à l'aide des différents moyens (isolation, protection, etc.).

Afin d'atteindre le confort d'été, on peut dire que la ventilation est un moyen très important, il faut donc parvenir à mieux connaître les mouvements d'air, qui sont dus, aux suppressions et aux dépressions du vent. La ventilation du bâtiment peut se faire par des procédés contemporains ou traditionnels.

En plus des facteurs de conceptions, il est utile d'évoquer les moyens les plus spécifiques permettant d'intervenir dans le confort d'été tel que: le processus de rafraîchissement et d'humidification.

La deuxième conclusion tirée de cette partie, nous a permis de connaître, les leçons qui ont fait preuve d'adaptation climatique dans des milieux considérés parmi les plus hostiles sur la planète.

En effet, les réalisations urbaines et architecturales léguées par nos aïeux, démontrent le niveau de performance constructive et, structurelle de ces bâtisseurs. Ces réalisations montrent aussi la variété de conception par rapport aux conditions de vie.

Ces catégories peuvent être résumées sous forme de deux alternatives. (Baker, N.N 1987)

*protection contre les surchauffes.

*apport de fraîcheur naturelle.

L'habitat vernaculaire dans les régions désertiques a toujours su profiter de son cadre naturel, afin de créer un microclimat favorable. Ce dernier est déterminé par plusieurs données environnementales, telles que : la topographie, la pente du terrain et, l'orientation.

Par conséquent, l'utilisation de la topographie et les éléments topographiques du site, ainsi que la verdure ont servi comme moyens de diminution de la sévérité climatique.

L'implantation du bâtiment est aussi choisie en fonction des changements climatiques, quotidiens et saisonniers, des vents, des endroits ensoleillés, du mouvement et type d'air.

La forme du bâtiment est généralement ajustée, afin que ce dernier puisse bénéficier des avantages climatiques, tout en réduisant au maximum les aspects défavorables. La forme, l'orientation, l'échelle du bâtiment sont, des éléments déterminants dans la maîtrise et le contrôle des exigences climatiques de la zone.

L'architecture vernaculaire, à travers son caractère compact, introverti et, l'utilisation des cours, a tout temps illustré l'aspect des rapports qu'entretiennent les éléments bâtis avec l'environnement naturel comme réponse à l'hostilité climatique.

Les enveloppes ont toujours été considérées comme éléments régulateurs des relations intérieurs/extérieurs. Du point de vue climatique, le comportement des enveloppes par rapport au rayonnement solaire, joue un rôle déterminant dans le confort des espaces intérieurs et extérieurs, en tant que surface réceptrice et émettrice d'énergie, par réflexion et par diffusion. Cela est obtenu par l'utilisation de matériaux locaux à forte inertie thermique.

A ce propos, les solutions de protections et d'adaptations des constructions traditionnelles restent toujours géniales par leurs efficacités. Les soucis d'économie d'énergie actuels ont non seulement contribué à les faire redécouvrir, mais, elles ont aussi, permis l'éclosion de nouveaux concepts et techniques, tel qu'il a été montré dans les exemples traités dans le chapitre six.

Donc, le retour aux concepts anciens, et le recours à l'utilisation des systèmes passifs dans le domaine du bâtiment et de construction contribueront forcément à assurer le confort thermique sans, le recours à l'utilisation abusive de la climatisation artificielle sous ses différentes formes, qui accentuent plus le problème d'utilisation des appareils à gaz à effet de serre.

On tentera d'introduire à travers la prochaine partie une étude analytique d'un ensemble de données relatives à la ville de Tamanrasset.

Partie 2

INTERROGATIONS SUR

TAMANRASSET

Introduction

L'objet de cette partie du travail est La présentation de la ville de Tamanrasset sous plusieurs angles.

En effet, dans le chapitre 1, il s'agit de présenter les différentes composantes et acteurs contextuels ayant orienté le développement de Tamanrasset. A travers une approche historique de la ville, il s'agit d'identifier d'une part son importance comme établissement humain très ancien, et les événements historique qui l'on marqué, ou elle mettra en exergue les mutations spatiales qu'à connu la ville de Tamanrasset. D'autre part, nous nous intéresserons à l'évolution urbaine et architecturale de la ville.

Les nouvelles fonctions attribuées à cette ville au milieu des années soixante dix, ont permis d'amplifier le nombre de sa population , qui ont conduit à l'apparition de nouveaux modes d'urbanisation, (nouvelle forme urbaine, typologie d'habitat, matériaux de construction, etc.).

Depuis environ trente ans, sous l'effet de l'accroissement de sa population, la ville de Tamanrasset s'est agrandi sous l'effet de l'étalement urbain, ainsi de nouveaux types d'habitats sont apparus, qui ressemblent largement à ceux du nord du pays, et ne reflète guère le cachet des architectures locales, ni du point vu de la conception, ni même des matériaux et procédés de constructions.

On assiste à une production massive de tissus ouverts, sans préoccupation notable ni du climat saharien, moins encore des références culturelles. En d'autres termes, les enseignements offerts par les structures urbaines traditionnelles en matière d'adaptation climatique, n'ont pas été pris en considération dans la conception et la réalisation du nouveau cadre bâti.

Le deuxième chapitre de cette partie explore les facteurs climatiques que la météorologie a rendus quantifiable. Ces connaissances scientifiques sont nécessaires pour une prise en compte effective du climat dans la conception architecturale et urbaine.

D'une manière générale, l'architecte évalue les conditions climatiques propres à un environnement quelconques, aux fins de parer aux contraintes dont il doit se protéger et de profiter des conditions avantageuses qu'il désire exploiter.

Dans ce cadre précis, le chapitre II présente l'étude de la région de Tamanrasset selon, une analyse détaillée des éléments du climat.

A cette égard, la ville de Tamanrasset sera appréhendée à travers sa situation géographique, une analyse détaillée des éléments du climat, et une comparaison entre la température actuelle et celle d'une période lointaine marquée par une augmentation substantielle dû aux changements qu'a connu la ville (extensions urbaines, augmentation des surfaces minérales, et autres facteurs ayant influencé la température de l'air).

D'une manière générale, l'analyse climatique rendue nécessaire par la conception bioclimatique de l'architecture de ce fait tous les paramètres du climat doivent être pris en considération, car tous les facteurs climatiques évoqués agissent simultanément sur le bâtiment, et non séparément, c'est cette action combinée qui va provoquer les réponses thermiques du bâtiment. Une fois toutes les connaissances acquises, il faut avoir recours à des outils de traitement de ces données par une analyse bioclimatique.

Les différentes méthodes appliquées pour l'analyse bioclimatique du climat de Tamanrasset nous permettront de déterminer, les limites de la température de zone de confort des deux périodes (chaude et froide), et de faire le choix des techniques architecturales les plus appropriées à notre cas d'étude.

Une étude sur l'énergie et l'évolution de la consommation énergétique dans l'habitat fera l'objet du chapitre 4 de cette partie. Il traitera l'analyse de la consommation électrique à Tamanrasset dans trois secteurs différents, selon deux critères la quantité et le coût.

Enfin, une comparaison de la consommation de l'énergie électrique dans deux types d'habitats de conceptions différentes, permet, d'une part de déterminer le type d'habitat le plus énergivore, et de déduire les effets de conceptions sur la consommation en énergie.

Chapitre I: EVOLUTION ET DEVELOPPEMENT **DE LA VILLE DE TAMANRASSET**

Introduction

L'Algérie réalise par sa position géographique une jonction entre les pays européens et les pays du Sud (Sahara). Le Sud de l'Algérie, région saharienne, représente un vaste territoire d'environ 2 millions de km² (PDAU 1996). Au cœur de cette région, le Hoggar (AHAGGAR) est un massif montagneux, volcanique, circulaire, dominé par une sorte de plateau, l'ATAKOR, d'une altitude moyenne de 2000m, hérissé de pitons atteignant plus de 3000m (le mont TAHAT culmine à 2918m). Il se situe entre le 12° et le 13° parallèle de l'hémisphère Nord, à cheval sur le tropique du cancer, et couvre une superficie de 530.000km² (DPAT* 2002). Plusieurs petites villes et villages forment l'armature urbaine, dont certains sont difficilement accessibles. La ville de Tamanrasset chef lieu de wilaya, et capitale du massif volcanique de l'AHAGGAR, occupe une position très stratégique dans la région du Sud. Elle est considérée comme l'un des plus importants et des plus anciens passages vers l'Afrique. Etant un point de transit des caravanes, elle constituait un relais permanent entre le Nord et le Sud. Sa fonction de ville, relais et de transit lui a donné le caractère d'un pôle attractif et a contribué à son développement dans tous les domaines (démographique, activités et équipement, infrastructure)

I-1 Un siècle d'histoire:

L'appellation de touareg (ou encore Targui-targuia au masculin et féminin singulier), d'origine arabe, et extérieure au monde ainsi dénommé et n'est en usage que chez les étrangers. Touareg semble être de la région du Fezzan, et correspondait à un nom tribal particulier que les conquérants arabes ont étendu à l'ensemble des nomades voilés qui occupaient les zones sahariennes et sahéliennes. (Pandolfi, P. 1998)

Dans le Sud-algérien se trouvent deux grandes confédérations touarègues : celle des Kel-Ajjer (qui résident dans le Tassili-n-Ajjer), et celle des Kel-Ahaggar qui est connue sous son nom arabe de Hoggar.

Les populations Touareg vivant sur le territoire de l'AHAGGAR remonte à loin. Ils menaient une vie de nomade, se déplaçaient sans cesse. Ce qui ne permettait pas l'émergence de cité et de

* DPAT : Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire

centre urbain, car la construction devait être légère et facile à monter et à transporter. Ils vivaient donc sous des tentes (IHAKITE).

Ce vaste ensemble montagneux, situé au cœur du Sahara, a une superficie de 530.000 km² presque égale à celle de la France. L'altitude y est élevée et atteint presque 3.000m aux points culminants (Tahat, 2.918 ; Ilâmam, 2.760m ; Assekrem, 2.728m). (Guide touristique 2002 Son relief volcanique tourmaline (monts déchiquetés, étendues monotones, dédale de vallées escarpées) a fasciné de nombreux voyageurs. Le cœur du pays est le massif de l'Atakor qui représente un "relief de lourdes coupes, de plateaux rigides, plus ou moins inclinés et entaillés par un réseau de vallées extrêmement nombreuses et en pente forte (Rognon, 1967).

Le climat est caractérisé par de très fortes variations entre les températures diurnes et nocturnes d'une part, estivales et hivernales de l'autre.

C'est dans cet environnement difficile que vivent les Kel-Ahaggar. Mais la société de ces "hommes bleus" qui, depuis le XIX^e siècle, fascinent l'imaginaire occidental, a dû subir une série de mutations et bouleversements.

C'est donc l'étude d'une société en pleine évolution -en pleine mutation-, qui est décrite ici. Peu nombreux sont aujourd'hui les Kel-Ahaggar qui vivent encore sous la tente et mènent une vie nomade.

Située au cœur de l'Ahaggar, dans la région naturelle Ouan-Halledjen, la ville de Tamanrasset jouit d'une position géographique privilégiée. Carrefour des échanges et plaque tournante du commerce caravanier dans le passé, favorisée par des conditions historiques, Tamanrasset est devenue la capitale économique, culturelle et politique de l'Ahaggar et la porte de l'Afrique.

A l'origine, Tamanrasset était un centre de culture. Sa création est étroitement liée aux conditions politiques et économiques de l'ensemble du Sahara central dès la fin du XIX^e siècle. L'occupation coloniale d'In Salah et la prise de possession progressive des territoires soudanais (Niger, Mali) a provoqué des bouleversements dans les échanges commerciaux entre le Nord et le Sud. Les Kel Ahaggar dont l'économie dépendait, en partie du commerce caravanier et, du droit de passage imposé aux caravanes qui traversaient l'Ahaggar se sont appauvris. En effet, l'accord signé en 1902 entre les autorités coloniales et Moussa Ag-Amestane, un noble de la

tribu des Kel Gjhella, interdit les droits de passage. C'est dans ces conditions qu'une nouvelle impulsion fut donnée à l'agriculture comme solution à la diminution des ressources engendrée par ces interdictions. Le choix de Tamanrasset comme centre de commandement de l'Amenokal Mousa Ag-Amestane rehaussa le prestige du nouveau village, qui commençait à prendre forme. Les touaregs venaient de partout rendre visite à l'Amenokal, Tamanrasset devenait ainsi le centre politique de l'Ahaggar. A cette époque les premières constructions étaient des huttes en roseaux (ikebran).

A cette même époque (1905), les militaires français du fort antylinski, distant d'une cinquantaine de kilomètres au Sud-est de Tamanrasset, firent bâtir pour Charles de Foucauld, mystique chrétien et informateur de l'armée, une chapelle sur la rive gauche de l'oued Tamanrasset (figure II-1). En raison de sa forme longue et étroite, ce bâtiment fut surnommé la frégate. Depuis, Tamanrasset devint le second établissement colonial de l'Ahaggar.



Figure II-1 : la chapelle construite par Foucauld C. 1905

Source : auteur 2009

Le Sorro de l'Aménokal Mousa Ag-Amestane, (construit vers 1908), est situé à 3km environ à l'est de la "frégate", au pied du mont Adriane, l'endroit où l'oued de Tamanrasset prend la direction de l'ouest (figure II-2). Il constitue le premier témoignage architectural de la ville de Tamanrasset. Cette grande maison à étage n'était pas réservée exclusivement à l'habitation de l'Aménokal. La partie résidentielle était séparée de celle réservée à la réception des hôtes et à la gestion des affaires du pays. Une seconde aile au sud du ksar, détruite, fut reconstruite par l'Aménokal Akhamoukh. Bien plus tard, le Sorro fut abandonné puis de nouveau, il servit d'habitation notamment à Moulay Zine Eddine Reggani.



Figure II-2 : Sorro en 1916

Source : OPNA* Tamanrasset

Autour du Sorro, s'installèrent des familles, les proches parents de l'Aménokal, où ses descendants directs et alliés, des artisans et des cultivateurs.

Ainsi, se créa l'un des plus anciens quartiers de Tamanrasset, dans la périphérie est qui porte le nom de Assoro en référence à Sorro ag Amestan. Ce quartier s'étendait jusqu'au mont Adiane où se trouvaient les principaux jardins palmeraies et champs de blé de l'Amenokal. On peut encore aujourd'hui observer les vestiges et les traces des terrains cultivés et des anciennes foggaras, seguias et bassins d'irrigation (figure II-3).

La ville est structurée autour de l'oued de Tamanrasset et de l'oued Serssouf dont la rencontre définit des entités urbaines, supports de quartiers résidentiels. Chaque quartier de Tamanrasset est caractéristique d'une période de l'histoire de la ville, et constitue le siège d'une communauté culturelle spécifique. Les populations originaires du Touat, Metlili et du Mزاب ont formé le substrat de la société sédentaire de la ville. Ville cosmopolite, destination touristique importante, elle est le point de départ des excursions dans l'Ahaggar et le Tassili.

* OPNAT : Office du Parc National de l'Ahaggar



Figure II-3 : terrains cultivés et foggaras

Source: DUC Tamanrasset

I-2 Données démographiques :

La présence humaine dans la wilaya de Tamanrasset remonte entre 600000 et 1000000 d'années, âge attribué par les découvertes réalisées au niveau de la région du Tassili et du Tidikelt, et comme l'attestent, les impressionnantes et fascinantes peintures et gravures rupestres du Hoggar et du Tassili. (Pandolfi, P. 1998)

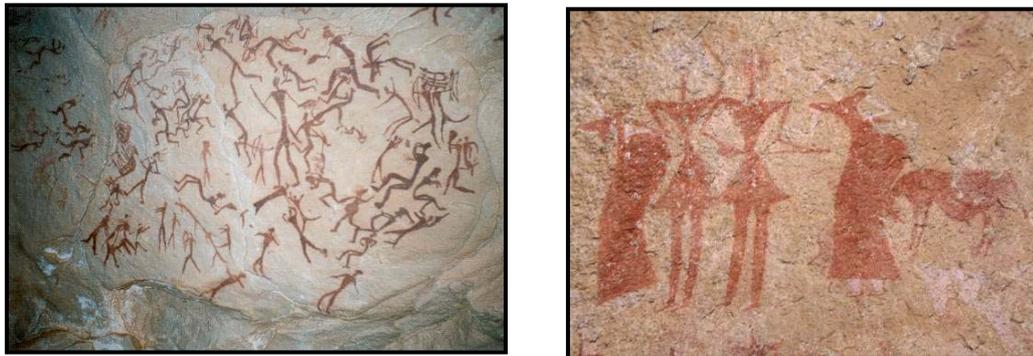


Figure II-4 : peintures et gravures rupestres datant de 600 à 5400 av. J.C.

Source: OPNATamanrasset

En milieu désertique, dans des régions immenses où la densité moyenne est très faible, où le nomadisme étant le genre de vie dominant, toute tentative de recensement rencontrait (et rencontre encore) de très sérieuses difficultés (Bernus, 1981). Beaucoup de Kel- Ahaggar étaient très réticents face à toute tentative de recensement, et il est encore fréquent de nos jours que nombre de naissance, mariage et décès ne soient pas déclarés.

Bien que le chiffre de 3000 habitants ait été avancé pour le milieu du XIX^{ème} siècle (Duveyrier, 1864), on ne dispose de renseignements sérieux sur la démographie de l'AHAGGAR qu'à partir d'une date relativement récente.

Au début du XX^{ème} siècle, en se basant notamment sur des recensements opérés par Benhazera et Chudeau en 1909, la population totale de l'Ahaggar étant estimée entre 5000 à 6000 habitants. Il faudra attendre le milieu du XX^{ème} siècle pour avoir des données plus complètes.

Originaires du Sahel et de l'Afrique noire ces derniers ont dû fuir pour des raisons économiques et/ou politiques leurs pays d'origine. La population originaire d'Afrique noire se concentre à Tamanrasset, qui n'est souvent pour nombre d'entre eux, qu'une étape transitoire vers le nord et au-delà l'Europe. La population touarègue originaire du Mali et du Niger se rassemble à Tamanrasset mais également dans les centres frontaliers (In-Guezzam, Tin Zawaten) qui ont connu, eux aussi, une forte expansion. (Figures II -5 et II -6)

Ces deux flux de la population « exogène », plus subis que désirés par les Kel-Ahaggar, sont emblématiques de la situation de cette région. La présence de plus en plus massive d'une population venue du Nord, avec en son sein une forte proportion de fonctionnaires et de militaires rappelle à la population locale que pour le gouvernement algérien, l'Ahaggar fait partie intégrante d'un état où aucune région ne peut se prévaloir d'une quelconque autonomie politique et administrative. Les réfugiés venus du Sud appartiennent à deux catégories principales. Il s'agit en effet, soit de Touareg ayant fui le Mali ou le Niger, soit de personnes appartenant à d'autres populations du Sahel voire d'Afrique occidentale. Ces présences sont pour les Kel-Ahaggar le rappel de deux données fondamentales : leur appartenance à ce pays Touareg qui bien qu'aujourd'hui divisé par de nombreuses et récentes frontières étatiques, qui constitue encore un ensemble socioculturel vivace. Rappel aussi de l'appartenance d'une région qui, depuis plusieurs siècles et jusqu'à une époque récente, encore était, sur de nombreux plans, davantage tournée vers l'Afrique sahélienne que vers le littoral nord-africain.

Un autre point important est l'apparition extrêmement récente d'agglomérations dans l'Ahaggar. Au début du XX^{ème} Tamanrasset était un petit centre regroupant moins de 500 habitants et en 1936/1938 encore on ne pouvait y recenser que 686 habitants. (Gast, F. 1981)

La population de Tamanrasset a connu une croissance importante à travers les données des différents recensements effectués, ceci est du principalement :

- Au taux élevé d'accroissement naturel.
- Au flux migratoire interne des villes d'Algérie.
- Au flux migratoire des pays voisins (Mali, Niger....).
- A la sédentarisation de la population Nomade.

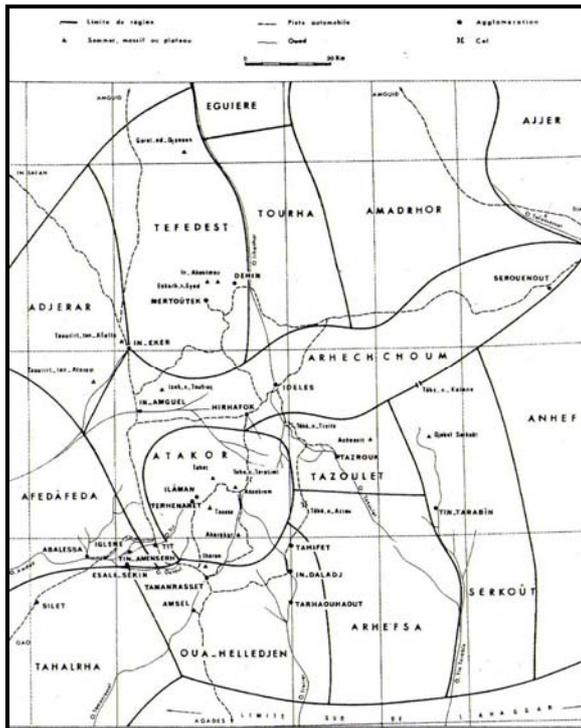


Figure II-5 : carte des régions naturelles de l'Ahaggar, d'après le père de Foucauld
Source: Arib K. 2002

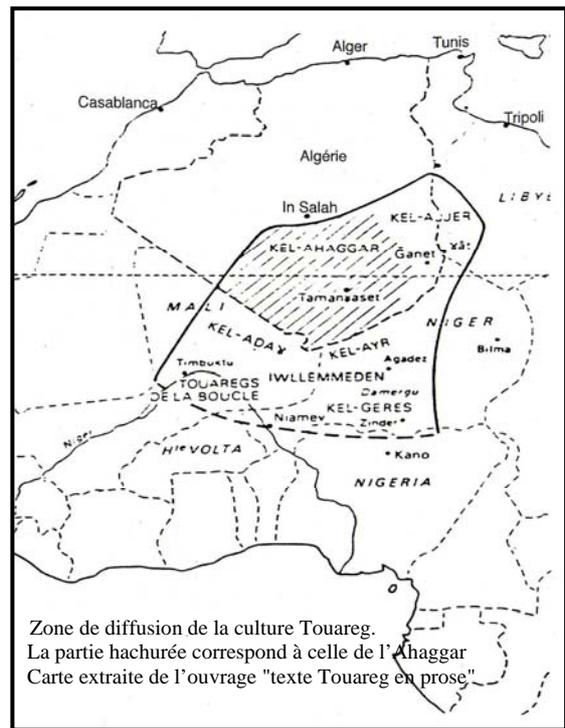


Figure II-6 : zone de diffusion de la culture touareg
Source: Arib K. 2002

D'après l'analyse des données démographiques, on note l'importance de l'apport des flux migratoires (intérieur et extérieur). Le développement démographique, la concentration élevée de la population au niveau de la ville entraîne automatiquement une demande croissante en matière de logement, d'équipements, ce qui fait progresser remarquablement le parc logement (voir tableau II -1).

Le Hoggar en général, et Tamanrasset en particulier, constituent un point de transit entre l'Afrique septentrionale et l'Afrique méridionale. D'ailleurs l'activité commerciale constituait l'ossature de la vie économique chez les Touaregs.

Tableau II-1 : évolution de la population et du parc
logement commune de Tamanrasset

Source : DPAT Tamanrasset 2009

Année	Population	Nbre. Logement
1977	17.200	4.247
1987	38.281	9.060
1992	57.625	12.382
1996	66.020	14.145
1998	72.969	15.901
2008	83.795	20.747

I-3 Evolution de l'habitat à Tamanrasset :

I-3-1 L'habitat nomade (la tente) :

Les touaregs nomades habitent la tente. Le campement est constitué d'un ensemble de tentes appartenant à une même grande famille. Les nobles, propriétaires de gros bétails (chameaux), s'installent ensemble. Les kell ulli (éleveurs de chèvres), quant à eux sont obligés de se disperser pour éviter que les ânes et les chèvres de leurs troupeaux respectifs ne se mélangent.

La tente est utilisée par les nomades aux migrations incessantes, elle se résume en un abri mobile, léger et démontable.

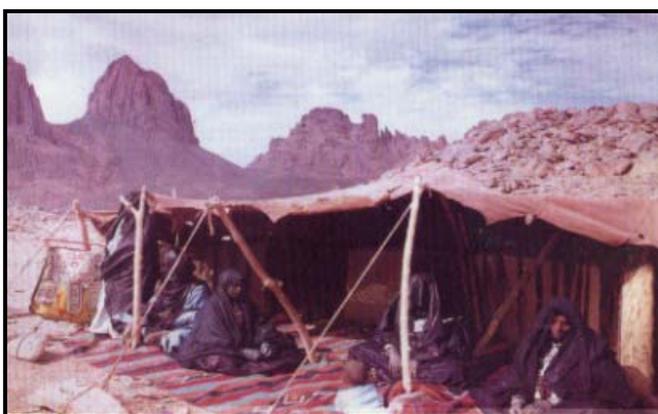


Figure II-7 : habitat des nomades Touaregs

Source: Guide touristique Tamanrasset (2006)

La tente des Touaregs du Hoggar est faite entièrement des peaux de chèvres et des moutons, tannées et cousues. L'assemblage forme le vélum ou "Ehakit", exemple : un petit vélum se compose de quarante peaux. (figure II-7)

Le vélum est supporté par des piquets intérieurs, des piquets latéraux, des piquets transversaux qui forment le toit de la tente et un piquet placé à l'entrée.

La tente est fixée au sol par les bords du vélum, une natte en paille "Isber" entoure la tente et la protège des vents et des poussières. Elle sert d'accès à cette demeure, ouverte le jour et fermée la nuit. La tente est aménagée en deux espaces : la partie gauche réservée aux femmes, celle de droite revient à l'homme

L'aération et l'unique moyen de lutte contre la chaleur, elle est assurée en fonction de l'orientation Nord-Sud, qui permet d'avoir un côté dans l'ombre, et l'autre généralement ensoleillé, ce qui facilite les mouvements d'air. Ces derniers peuvent être réglés en rabattant ou en relevant les nattes des côtés exposés. Pendant la nuit, la tente complètement fermée assure une bonne protection thermique contre le froid des nuits du désert.

Il est pour le moins significatif que très peu de familles se soient débarrassées de ces tentes, et qu'au contraire la plupart d'entre elles les conservent précieusement, comme si s'en défaire signifierait une répétition, un redoublement de la rupture introduire par la sédentarisation. (Pandolfi P. 2000).

I-3-2 Entre tente et maison la hutte ou zériba (l'EKEBER) :

Ce n'est qu'à une époque récente (milieu du XIX^{ème} siècle) que les Kel-Ahaggar et plus précisément l'amenukal EL-XAG-AXMED ont invité des agriculteurs à venir s'installer dans l'Ahaggar pour y cultiver des terres, ces agriculteurs étaient des noirs sahariens.

Vivant pauvrement dans leurs territoires d'origine, ils emmenèrent peu à peu leurs familles, pour se fixer sur leurs nouveaux lieux de travail, et formèrent ainsi les premières communautés rurales de l'Ahaggar, c'est ainsi qu'apparaît la hutte dans cette région (figure II -8).

Dans son monumental dictionnaire Touareg-Français, le père de Foucauld en donne la définition suivante :

"Ekeber-Ikebrân : hutte (en roseaux ou en branchage). La plupart de ces huttes sont cubiques, à toit plat, et environ 2.5m de côté ; certaines sont coniques et ayant la forme d'un mortier sans pied". (Foucauld CH. 1951)

L'espace intérieur de la hutte, délimité par les quatre parois, est un espace non-cloisonné. Ainsi, aucune cloison intérieure ne vient délimiter des espaces réservés à telle ou telle activité, à tel ou tel sexe, à telle ou telle classe d'âge.

L'espace intérieur de la hutte (zériba) forme un tout, dont l'aménagement consistera essentiellement en une disposition particulière des divers objets qui vont prendre place à l'intérieur de la hutte "aménagement intérieur de la hutte".

A l'heure actuelle, les huttes sont le type d'habitat le plus développé, dans les villages de l'Ahaggar, et elles semblent être la manifestation matérielle- en ce qui concerne l'habitat- du processus de sédentarisation en cours.

Il est significatif, à cet égard qu'à Tamanrasset ou dans un centre important comme Abalessa, les huttes aient complètement disparu en tant que type d'habitation. Les seules huttes encore visibles à Abalessa se trouvent dans les jardins et servent de dépôt où on entrepose divers outils et matériaux.

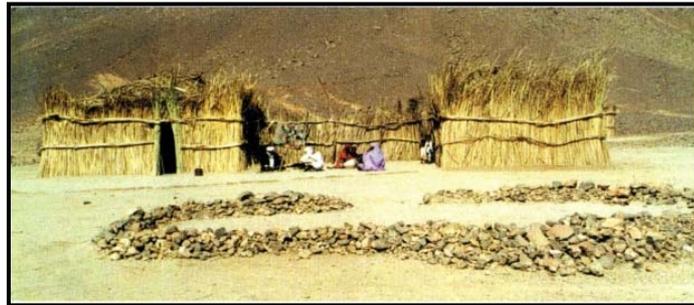


Figure II-8 : La hutte (l'Ekeber)

Source : OPNATamanrasset 2006

I-3-3 Les maisons :

Au début du XXème siècle la situation s'est modifiée rapidement, comme le note Charle de Foucauld: « ... depuis l'occupation française, l'Ekeber devient de plus en plus rare, les cultivateurs remplacent progressivement l'Ekeber (hutte) par des maisons qui n'existaient pas dans l'Ahaggar, depuis cette occupation, elle s'y multiplie rapidement, la presque totalité des cultivateurs ont remplacé leurs huttes par des maisons, et un certains nombre de Touareg s'en sont bâties. » (Foucauld CH, 1951)

Les maisons sont dénommées Taghahamt (pluriel Tighemin), terme dont Foucauld donne la définition suivante : « taghahamt- tighemin : maison, se dit de toute habitation a murs maçonnés, par opposition aux tentes et huttes en roseaux et branchages (Foucauld CH, 1951). Ces maisons se présentent sous la forme de constructions longues et étroites, parfois divisées en deux pièces dénommées chambre. Le matériau de construction en est la brique de boue séchée (Toub). Le sol de terre battue est recouvert d'une couche de sable. Chaque pièce s'ouvre par une porte et une petite fenêtre permet un minimum d'aération. Parfois, ces maisons sont précédées d'une cour fermée (figure II -9).



Figure II-9 : maison traditionnelle

Source : auteur 2009

Donc, grâce au témoignage du père de Foucauld, on peut précisément dater le passage des huttes aux constructions -en dur-, "dès 1904-1905, une véritable fièvre de construction. Et, dix ans plus tard, à Tamanrasset, il n'y a que des maisons en dur". (Foucauld CH, 1951)

I-3-4 Typologie de la maison :

I-3-4-1 La maison bipartie:

L'espace de la maison est constitué d'une grande salle subdivisée en deux parties par une cloison. La première partie fait office de cuisine et de salle de séjour, la deuxième partie comprend un espace de bagage et un coin pour dormir. Le plan est rectangulaire, il comprend parfois un petit décrochement, c'est la maison du coin. Sa largeur réduite est fonction des troncs d'arbres utilisés pour soutenir le toit. Le seul contact avec l'extérieur est la porte d'entrée. Un abîme dans le mur du coin cuisine permet l'évacuation de la vapeur d'eau.

Ce type qui constituait autrefois les trois quarts des maisons ne subsiste encore que dans les villages éloignés.

I-3-4-2 La maison à cour:

La maison à cour résulte de l'amélioration des conditions de vie des cultivateurs. C'est l'extension du premier type dans ses deux formes (la maison en dur et l'Ekeber). Caractérisé par la séparation des différentes activités de la maison et l'apparition de la courette, ce type de maison s'est vite généralisé, car il répond mieux au mode de vie en plein air des Touaregs. L'organisation de la maison est en forme de L, comprenant deux ou trois chambres (figure II-10). Chacune d'elles assure une fonction particulière. Des murettes d'une hauteur de 60cm prolongent les deux murs latéraux, délimitant l'espace de la cour. D'autres maisons présentent deux cours communicantes.

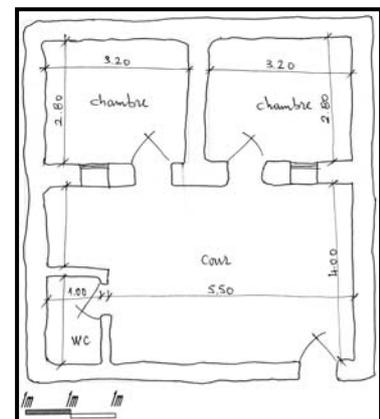
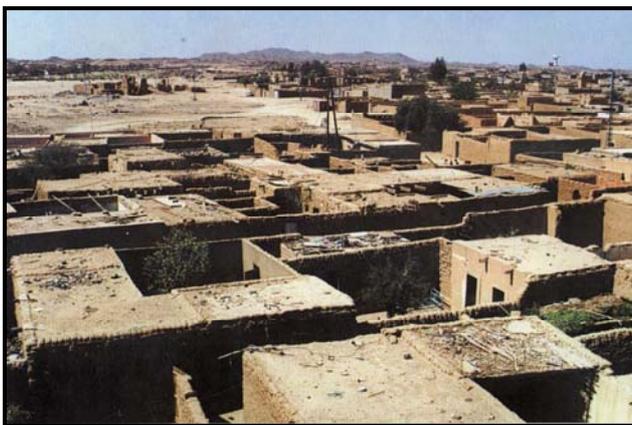


Figure II-10 : vue générale et plan d'une maison à cour

Source : auteur 2009

I-3-4-3 La maison à patio:

Ce type de maison est le produit de l'architecture du désert. Répondu dans les Ksour sahariens, il a été introduit en Ahaggar par les nombreuses populations du Touat, du Tidikelt et de Metlili, venues s'installer à Tamanrasset. C'est une maison compacte, introvertie organisée autour de rahbas souvent réduites aux dimensions de puits de lumière et d'aération (figure II-11). Construite avec de la brique de terre, ses murs épais offrent une isolation très efficace contre les variations de température. Le parcours commence à l'entrée, de la porte en arcature, traité en relief, on accède à la skiffa, organisée en chicane. De la skiffa on aboutit à la cour, espace d'articulation et de transition latéralement fermé. Ouvert et éclairé par le haut, il donne l'étrange sensation de se trouver à la fois dedans et dehors, c'est l'équivalent de la place publique à l'échelle de la maison. La galerie périphérique distribue les chambres.

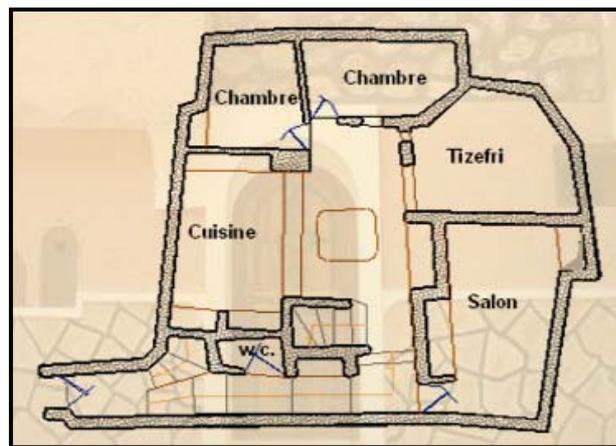


Figure II-11 : plan d'une maison à patio
Source : site www.Ksar Tafilalt, 2008

I-3-4-4 Le Sorro:

Le Sorro est l'appellation de la demeure à étages, en tamahaq. C'est la demeure fortifiée des seigneurs de l'Ahaggar. Destinée à impressionner par sa taille, son style et sa décoration, elle est le reflet de la puissance et du pouvoir du chef. Les Sorro de Tamanrasset et de Tazrouk ont connu des destinées différentes même s'ils ont été construits à la même époque.

Le Sorro de Tamanrasset a été construit vers 1908 à la demande de l'aménokal Ag-Amestane.

Il servait aussi de refuge à la population villageoise, lors des attaques de l'ennemi.

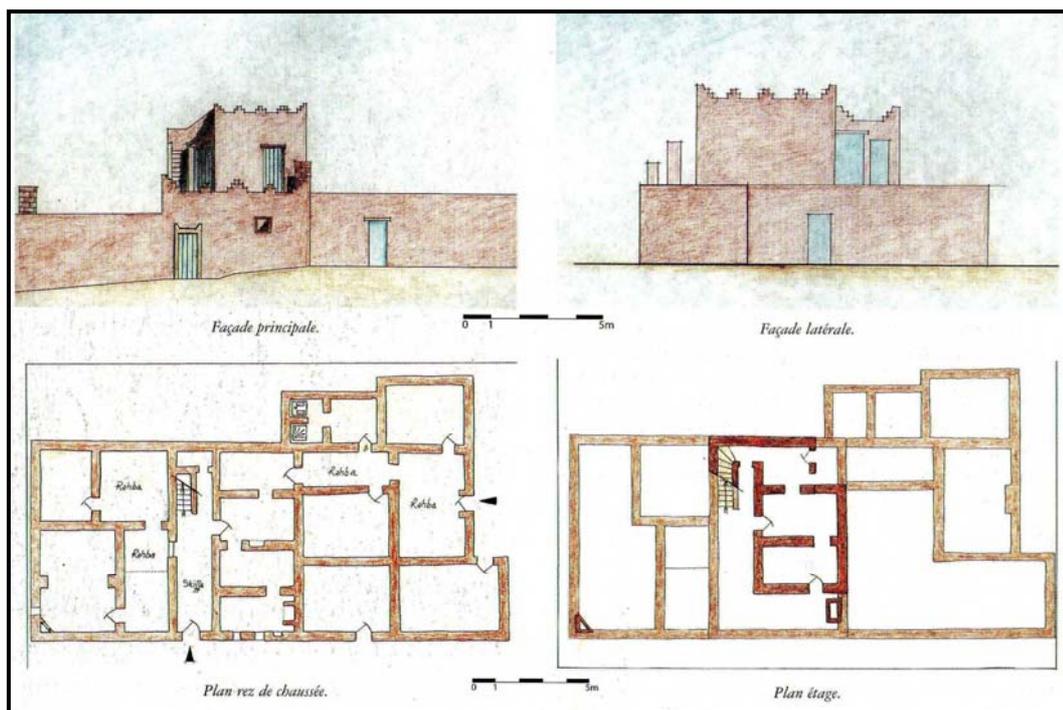


Figure II-12 : plans et façade du Sorro

Source : Arib K. 2002



Figure II-13 : Sorro en ruine

Source : auteur 2009

a- Aspect fonctionnel:

L'organisation spatiale du Sorro correspond à un système d'enclos. De l'unique porte d'entrée, on accède à la skiffa, espace de transition articulant l'intérieur et l'extérieur et distribuant les différentes parties du bâtiment. La partie centrale est constituée de quatre chambres successives, rectangulaires et étroites, d'une hauteur de quatre mètres. Les murs d'enceinte épais renferment des niches et des cheminées. La dernière chambre donne sur la nouvelle extension du Sorro. La partie latérale gauche est organisée autour d'une courette, lieu de rencontre de la famille, en partie couverte de tehli* et donnant sur deux chambres. On accède à l'étage par un escalier en chicane, aboutissant à un palier distribuant deux terrasses, chacune d'elle donnant sur une chambre (figures II-12 et II-13).

I-4 Evolution urbaine de la ville de Tamanrasset:

Tamanrasset, créée au début du XX^{ème} siècle, est devenue capitale de l'Ahaggar et par là, porte de l'Afrique sur la méditerranée.

Au fil des années, Tamanrasset devient le lieu de regroupement des Berbères et des arabes sédentaires ou nomades, unifié par la religion musulmane, leur souci majeur était de surmonter les difficultés que présente l'environnement.

Suite au développement de l'agriculture dans la région au XIX^{ème} siècle, les Touaregs ont choisi des endroits moins défavorables pour se stabiliser, c'est ainsi que l'occupation du territoire s'est limitée aux abords des grands oueds de l'Ahaggar (Oued Tamanrasset et Oued Sersouf). Et les Touaregs passent d'un habitat nomade, saisonnier et dispersé, à un habitat permanent. C'est la naissance du village (l'Aghrem).

En 1905, le père de Foucauld, s'est rendu à Tamanrasset pour préparer la colonisation de la région. A l'époque le village de Tamanrasset comptait une vingtaine de huttes (Zribat) sur l'une des rives d'Oued de Tamanrasset. (Foucauld CH. 1951)

* tehli : plante d'environ de 2 mètres de hauteur, qui pousse sur les rives des oueds de Tamanrasset

La colonisation s'est caractérisée en 1920 par, la construction du fort LAPPERINE et la réalisation de la caserne militaire (figures II-14 et II -15) .Ce n'est qu'au cours des années cinquante, lorsque Tamanrasset est devenue une sous préfecture, que la ville connaît ses premières étapes d'urbanisation. Le tracé en damier du centre colonial destiné principalement pour l'hébergement des militaires et des missionnaires (figures II -16 et II17). Ainsi l'apparition du centre actuel LAHOUANITE sur la rive droite de l'Oued.

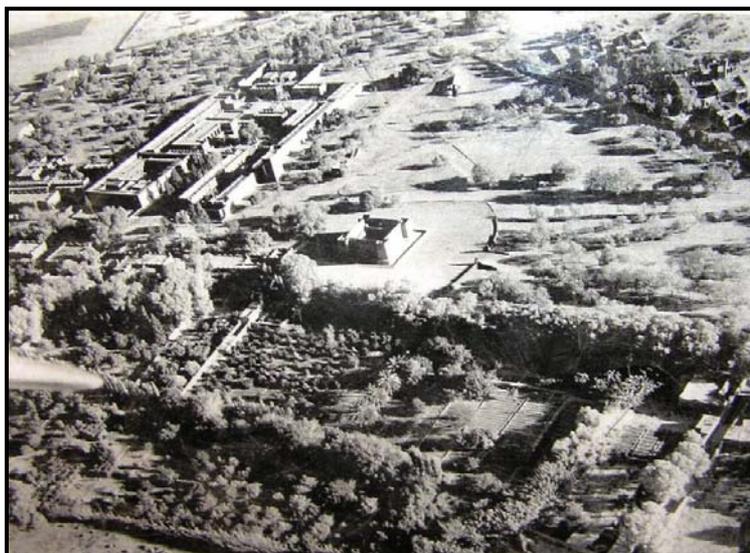


Figure II-14 : le centre colonial en 1930

Source : OPNATamanrasset

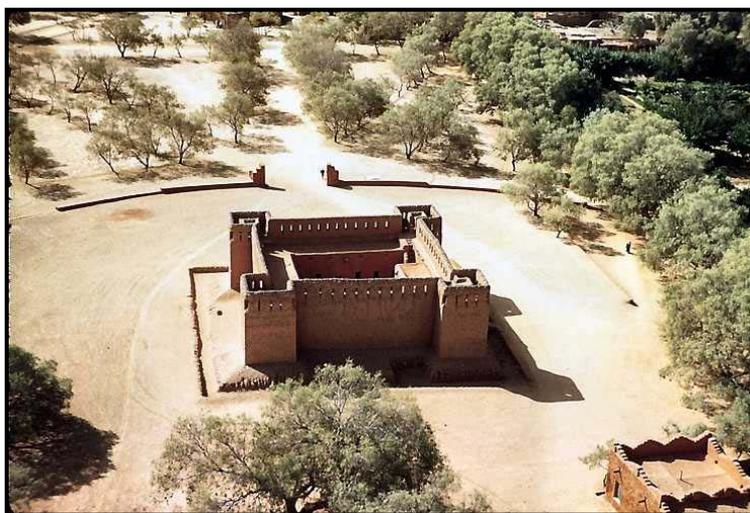


Figure II-15 : le fort Lapperine en 1920

Source : DUC Tamanrasset



Figure II-16 : quartier colonial

Source : Google Earth 2013

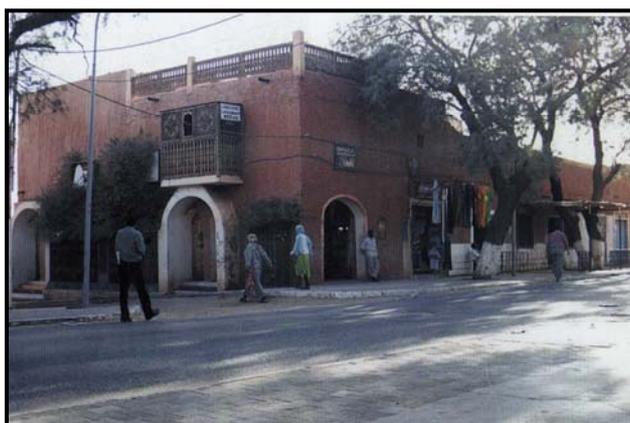


Figure II-17 : vue sur une rue et une maison de la période coloniale

Source : auteur 2009

En prolongement de LAHOUANITE et sur les rives des Oueds Tamanrasset et Sersouf, les populations locales et émigrés venant du Nord (Touat, Metlili, et du M'Zab) se sont installées. Leur apport dans le développement de la construction est considérable, car ils ont amené avec eux leurs savoirs-faire urbain et architectural; de magnifiques quartiers traditionnels inspirés des Ksour du M'Zab et de Gourara se sont développés à Tamanrasset, donnant naissance au quartier TAHAGGART (figure II-18). Le tracé de ces deux unités urbaines de la période "coloniale" et "musulmane" est de type linéaire.



Figure II-18 : quartier traditionnel Tahaggart

Source : Google Earth 2013

Après l'indépendance et jusqu'aux années 70, l'évolution de ce centre urbain était très lente. Certaines constructions ont été réalisées à proximité des édifices existants donnant naissance au quartier GUETAA EL OUED et par extension celui d'IMECHOUANE sur la rive gauche d'Oued Tamanrasset, EL HOFRA et SERSOUF sur la rive droite.

Durant la décennie 1970-1980, la région a connu des événements remarquables. Tamanrasset fut promue au rang de chef lieu de Wilaya en 1974 puis, reliée au reste du territoire par la transsaharienne. Ces mutations ont impliqué la réalisation de tous les équipements

nécessaires à une nouvelle Wilaya, ainsi que des programmes d'habitat et d'infrastructure. La ville a pris alors sa nouvelle texture.

L'extension était encore concentrée sur les rives de l'Oued de Tamanrasset. A l'Est et sur la rive droite, les équipements réalisés ont permis l'émergence du quartier du MOUFLON. Au Sud, les populations jadis Nomades et ceux de la zone éparse ont créé les quartiers TAHAGGART bas et GUETAA EL OUED bas. Des quartiers périphériques sont apparus tels que ASSORO et TABARKAT à l'Est et SERSOUF au Nord (figure II-19).

La migration des populations rurales, et des villes du Nord s'est accentuée après 1980. D'après l'analyse des données démographiques, on note l'importance de l'apport des flux migratoires (intérieur et extérieur), de 1970 à 2002 on remarque que l'effectif de la ville a quadruplé passant de 17200 à 84617 d'habitants. Une concentration élevée de la population au niveau de la ville entraîne automatiquement une demande croissante en matière de logement. (DPAT 2003). La ville a donc connu une croissance urbaine considérable, elle s'est élargie sur les deux rives de l'Oued. Le tracé linéaire parallèle aux rives a complètement disparu, et l'extension de la ville a engendré une nouvelle forme relativement circulaire. Les quartiers se sont nettement déterminés et la forme ovale et concentrique s'est clairement matérialisée autour du centre ville.

Suite à la rapidité du rythme de la croissance urbaine, le plan d'urbanisme directeur (PUD) élaboré en 1984 s'est vu nettement dépassé, ce qui a engendré beaucoup de problèmes

I-5 Analyse urbaine :

Du fait de sa genèse récente et les diversités socioculturelles de sa population, l'agglomération de Tamanrasset se caractérise par un cachet spécifique traduisant une identité ou une vocation précise. Néanmoins et comme tout centre urbain, le tissu de Tamanrasset a certaines caractéristiques.

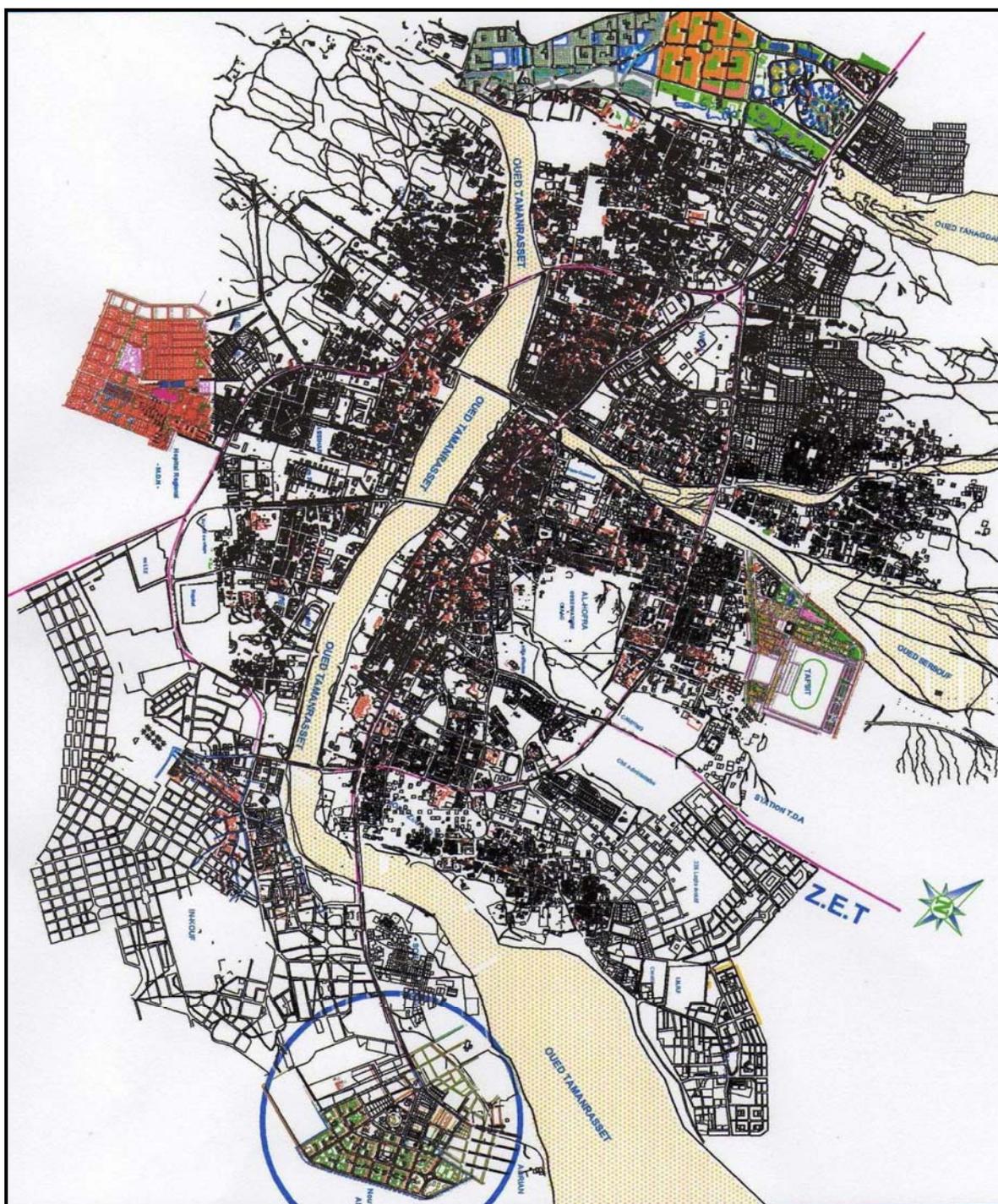


Figure II-19 : plan de la ville de Tamanrasset

Source : DUC Tamanrasset 2008

I-5-1 Structure urbaine traditionnelle:

Dans les premières années qui ont suivi l'indépendance, des quartiers traditionnels se sont formés tout autour du centre colonial, le quartier El Haffra au Nord et le quartier El Ksar à l'Est. Les populations de ces quartiers sont principalement des commerçants Chaânbas, Mozabites, ces habitants ont développées des quartiers à l'image des Ksour de Gourara, Touat et Tidikelt, leur espace d'origine.

Le tracé du quartier traditionnel suit le mouvement du sol et colle à sa topographie. L'organisation spatiale du quartier suit un système d'enclos hiérarchisé de l'espace public le plus extérieur à l'espace privé le plus intérieur (figure II-20). Le processus de privatisation de l'espace urbain commence avec la rue principale et aboutit à la maison, fin de parcours, en passant par la ruelle et l'impasse distribuant les maisons situées à l'intérieur de la parcelle. Cette organisation alliait harmonieusement les formes, la culture et le bioclimat (côte M. 2006)

Les rues sont sinueuses et profondes, amenuisant ainsi le temps d'ensoleillement des façades et empêchant le vent de chasser l'air frais accumulé la nuit (figure II-21). Quand les habitations sont accolées autant que possible les unes aux autres horizontalement cela peut diminuer les possibilités d'ouverture sur l'extérieur et réduire les surfaces d'ensoleillement.

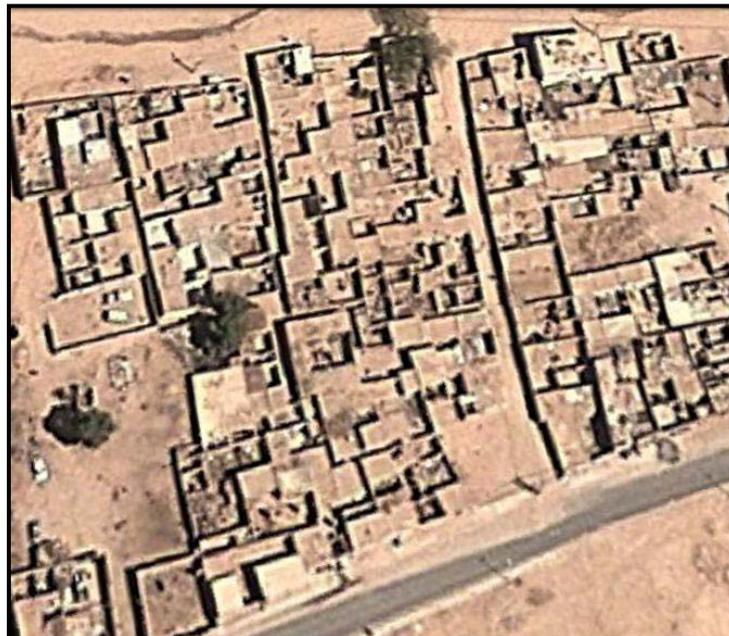


Figure II-20 : structure urbaine traditionnelle

Source : Google Earth 2013



Figure II-21 : vue sur une rue traditionnelle

Source : auteur 2010

I-5-2 Tissu urbain contemporain :

Après la promotion de la ville de Tamanrasset chef lieu de wilaya, cette dernière a connue une croissance rapide (explosion) dépassant les limites d'urbanisations prévues par le P. U. D.

Plusieurs opérations ont vu le jour, lesquelles sont souvent inadaptées aux exigences climatiques, culturelles et sociales de la région et marquent surtout une utilisation irrationnelle du sol du fait de grandes disponibilités ; c'est à travers ce tissu que l'on constate l'absence de la qualité architecturale. L'urbanisme à dominance minérale des quartiers contemporains se caractérise par l'éclatement du tissu urbain, l'organisation du bâti selon des voies standardisées (figures II-22 et II-23). On parle moins du ksar, cela a produit un glissement linéaire de l'habitat compact vers un habitat en "ruban" souvent le long de larges routes rectilignes, et la ville devint un conglomérat de maisons inadaptées qui ont ignoré le confort thermique des habitants, car les rues asphaltées et une maigre végétation, accumulent la chaleur tout au long de la journée.

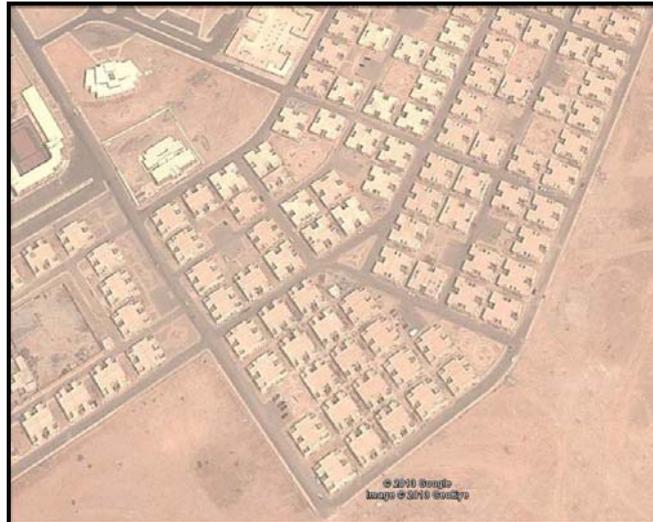


Figure II-22 : structure urbaine contemporaine

Source : Google Earth 2013



Figure II-23 : vue sur une rue contemporaine

Source : auteur 2010

I-6 Analyse architecturale :

I-6-1 La maison traditionnelle:

La maison traditionnelle prend souvent la forme de la parcelle, elle peut être régulière (rectangulaire), trapézoïdal..., ou irrégulière caractérisé par les constructions de type HAOUCH, c'est à dire plusieurs pièces autour d'une cour intérieur ou RAHBA. Ces habitations ont des accès en chicane avec un couloir passant par la chambre des invités et débouchant sur la cour intérieur (figure II -24).

- RAHBA (cour) espace central: L'espace vaste, clos, polyvalent et généralement central, s'articule autour de lui les autres espaces. Le mode de relation entre la cour et les autres espaces se fait directement à travers les façades intérieures.

"Naturellement la pénétration d'air, de lumière et d'ensoleillement se fait à travers les cours intérieures considérées comme régulateur thermique". (Raverau A. 1998 ; Raymond A. 1985 ; Izard J.L et al. 1980)

La cour par ses dimensions et sa forme peut lutter contre les vents de sable, « Elle peut être, la seule défense véritable contre les vents desséchants chargés de sable qui, l'épargnent à condition quelle soit assez restreinte pour ne pas créer des pressions sensibles ». (Lavigne P. 1994)

- La Skifa: chicane, l'accès au cœur de l'habitation se fait par l'intermédiaire d'un espace tampon (skifa) jouant le rôle d'espace de transition et de filtre. Elle permet l'intimité, et procure une protection contre la pénétration de la chaleur, du sable et de la poussière.

- BIT EDDIAF : espace pour invités, généralement pour les hôtes masculins, dont l'accès est placé près de l'entrée et passe à travers la Skifa.

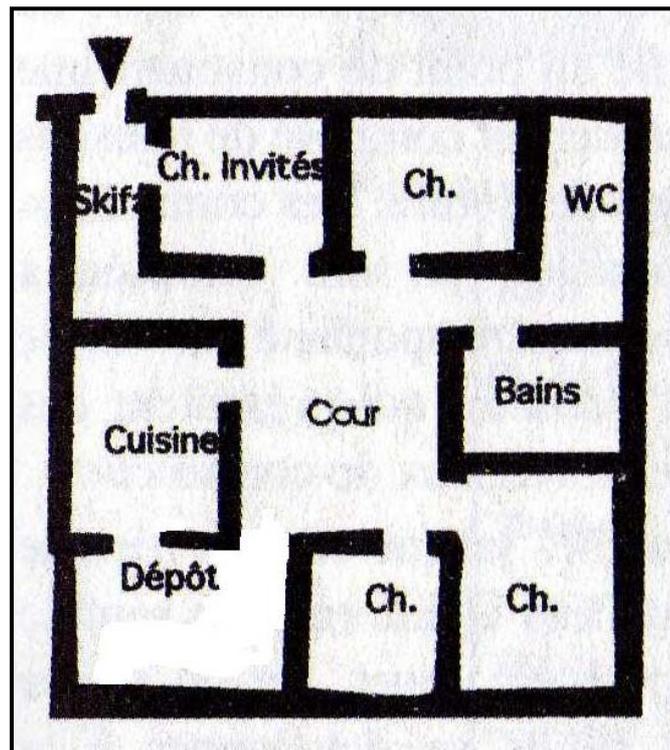


Figure II-24 : plan d'une maison traditionnelle

Source : Côte M. 2006



Figure II-25 : vue d'intérieure d'une maison traditionnelle

Source : auteur 2010

La conception de la maison intègre en effet la protection contre la chaleur : des murs épais, généralement en pierre ou en terre.

Les ouvertures sont de taille réduite et donnent généralement sur la cour. Les façades sont souvent aveugles. Ce type d'habitat considéré comme local, et assez répandu dans cette agglomération (figure II-25).

"Il s'agit d'un type très adapté d'une part à une intégration climatique et d'autre part à une organisation sociale." (Bennadji A. 1999)

I-6-2 La maison contemporaine saharienne: vers une maison locale standard

Formant des zones de plusieurs milliers de logements, l'habitat collectif recompose la ville et transforme les modes d'habiter. Les ZHUN deviennent de nouveaux centres de vie sociale, avec leurs équipements, leurs commerces et leurs nouveaux espaces de sociabilité. Forme d'habitat la plus éloignée du système ksouriens, elle bouscule les modes de vie, oblige à de nouveaux types de voisinage, modifie le rapport entre l'espace public et l'espace privé.

Un habitat moderne (contemporain) résulte de l'introduction des instruments d'urbanisme dans la construction à savoir les études de groupement d'habitat individuel (G. H. I.), de zones d'habitat urbaines nouvelles (ZHUN) et de lotissement. Ce type de constructions semblent indifférentes au milieu dans lequel elles s'insèrent, elles donnent, évidemment,

l'impression d'une greffe. Autrement dit, ni la typologie, ni le climat, ni les traditions sociales ne sont prises en compte. L'habitat traditionnel est remplacé par une maison moderne qui s'articule autour d'un couloir (de l'introversion à l'extraversion). Ce qui donne un aspect similaire à celui des bâtiments existants dans le nord du pays, qui se caractérisent par la mauvaise performance thermique, donc ne répond pas au besoin de confort thermique des usagers (figure II-26). Cette organisation se définit par de large baies vitrées souvent mal orientées, mur peu épais d'une faible inertie thermique, ventilation nocturne insuffisante, tout concourt à faire de ces maisons de véritables fournaies dès qu'il fait chaud (Chelghoum Z, 2000).

Les matériaux anciens (locaux) sont abandonnés, cédant la place au béton, parpaing et acier, la justification de cette abandon s'appuie sur des raisons qui ne manquent pas de pertinences. " La perte de technicité, du savoir faire architectural des maçons experts jadis en l'art de bâtir en terre, et souvent évoquée par les habitants". (Fontaine J. 2003)

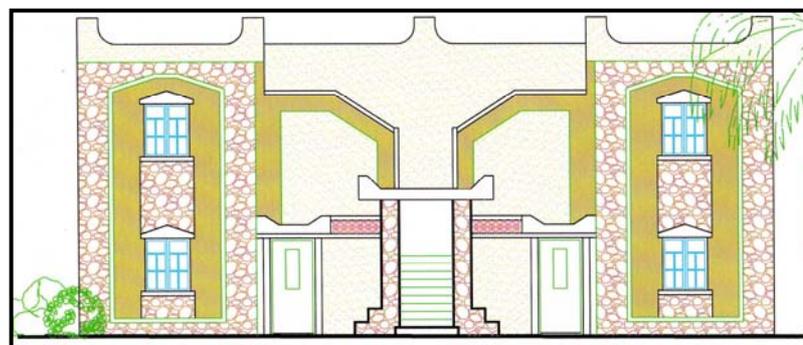
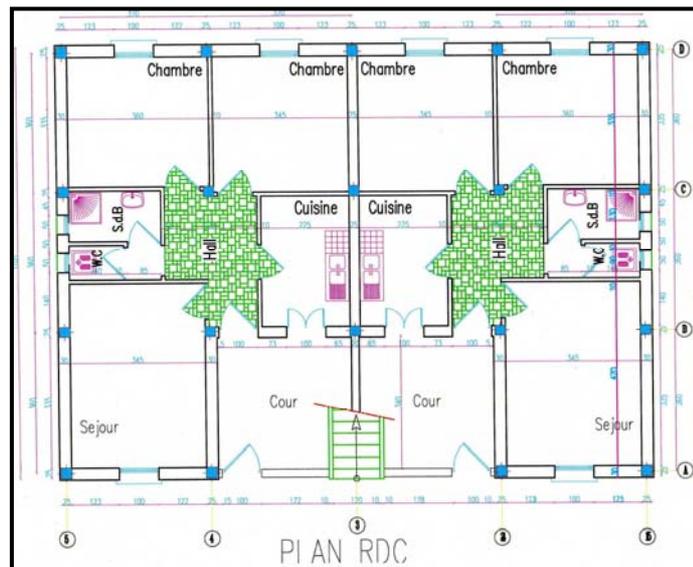


Figure II-26 : Plan et façade de la maison contemporaine

Source : OPGI Tamanrasset 2006

I-6-3 Matériaux de construction et systèmes constructifs :

La nature des parois est un niveau d'adaptation qui intéresse particulièrement la gestion du rayonnement solaire, créant une barrière entre l'intérieur et l'extérieur et modifiant les échanges thermiques. Les matériaux qui les composent, leur épaisseur, leur couleur, leur revêtement et leur propriété thermo physique, sont des facteurs principaux intervenant dans leur évaluation. Dans les régions arides ou semi-arides, il est nécessaire de réaliser des parois de forte inertie thermique, ayant la capacité de stocker la chaleur le jour et la restituer la nuit, pour réduire les fluctuations de la température qui sont à la base de la sensation d'inconfort (lavigne P, 1994).

Les habitants utilisent les moyens et matériaux de constructions locaux. Les murs d'épaisseur 40 à 60 cm, sont érigés avec un nombre important de brique de terre fabriqué sur place figures II-28 et II-29).

On utilise une terre sableuse (50 à 70 %) et argileuse (environ 20%). Légèrement humidifiée, la terre est mise dans des moules et compactée légèrement à la main. Une fois démoulée, elle sèche au soleil et donne naissance à des briques de terre crue. (Fouin J. 2003)

Une fois sèches, les briques se montent comme des parpaings avec un mortier réalisé grâce à la même terre que les briques mais tamisée pour éviter les graviers. L'épaisseur des murs porteurs varie de 60cm au rez-de-chaussée, à 40cm aux étages.

La fondation est faite en semelles filantes de moellons dans la partie basse pour rattraper la dénivelée. Dans la partie haute, les semelles sont en brique de terre (figure II-27).

Un revêtement de sable, terre et eau d'une épaisseur d'environ 2cm vient couvrir ces murs, à l'aide d'un bâton des lignes verticales viennent décorer les murs, et permettent à l'eau de pluie de couler.

Ce type de mur ralentit le transfert de chaleur à l'intérieur des espaces. La température surfacique intérieure du mur exposé au soleil ne commence à prendre des valeurs de Température inconfortable qu'au crépuscule. (Damby M, 1998)

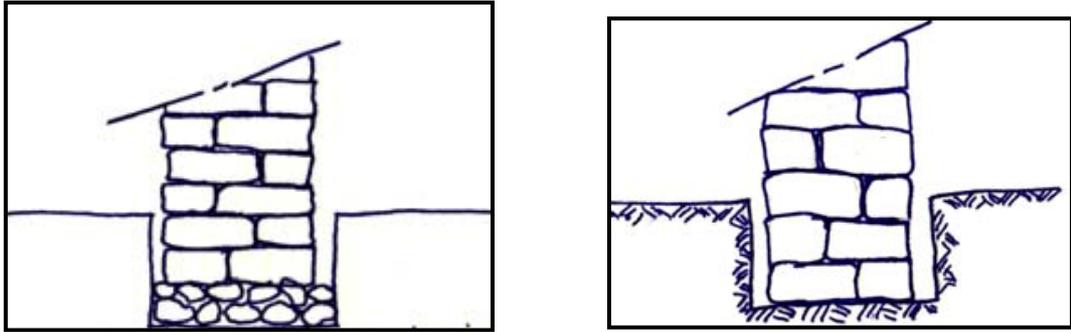


Figure II-27 : fondations d'un mur traditionnel

Source : auteur 2010

La toiture plate d'une épaisseur importante de 30cm est fabriquée à partir de troncs de palmiers de 2.50m à 3.00m de portée, posées sur des murs porteurs qui supportent des rondins, espacés à des intervalles réguliers de 50 à 70cm (figures II-28 et II-29). Des branches d'arbres sont ensuite perpendiculairement posées sur les rondins et soutiennent une ou deux couches de Tehli, qui est utilisées pour absorber l'eau et servir de coffrage aux différentes couches posées dessus. La première couche d'environ 10cm de terre mouillée, posée directement sur le Tehli, au dessus une deuxième couche de terre sèche est appliquée pour déterminer la forme de pente, enfin une couche de terre mouillée lissée par une truelle assure l'étanchéité. La partie la plus basse de la toiture comprend un genre d'acrotère.

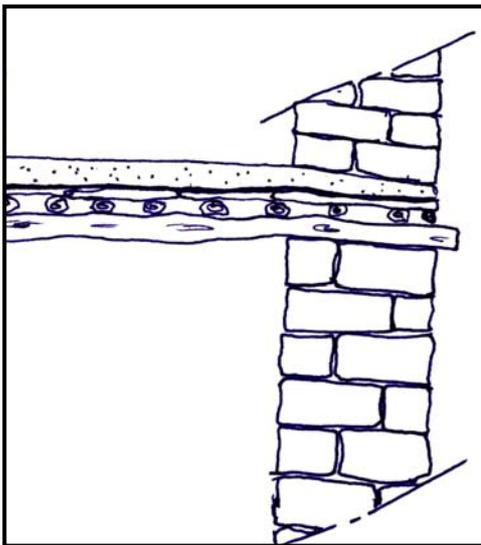


Figure II-28 : détail d'un mur
et toiture traditionnel

Source : auteur 2010



Figure II-29: mur en matériaux locaux

Source : auteur 2010

Cependant on peut obtenir un climat intérieur supportable pendant la période chaude en choisissant avec soin les matériaux et les détails de conception (Givoni B, 1980).

Malheureusement, les matériaux utilisés dans la construction actuelle tel que le béton, le parpaing et le verre, se caractérisent par de mauvaises propriétés thermo physique à l'égard du rayonnement solaire intense qui caractérise la région (figure II-30 et II-31). Le mur de nos jours est devenu qu'une simple frontière entre l'extérieur et l'intérieur. (Alphees P. 2003)



a- matériaux et système constructif



b- vue d'ensemble

Figure II-30 : architecture contemporaine

Source : auteur 2010

Les toitures à faible inertie thermique ne possédant pas des caractéristiques isolantes importantes, elles constituent une surface d'absorption au rayonnement solaire, de part son

exposition au soleil toute la journée, donc c'est la partie qui reçoit les plus fortes intensités du rayonnement solaire (figure II-31).

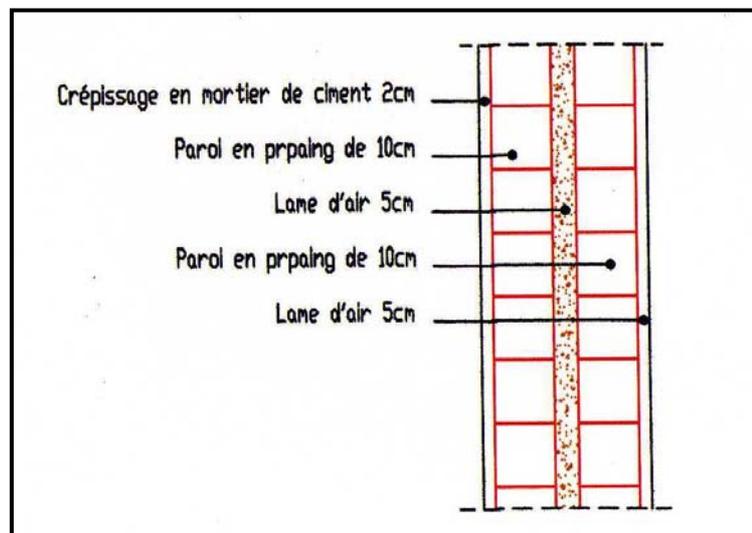
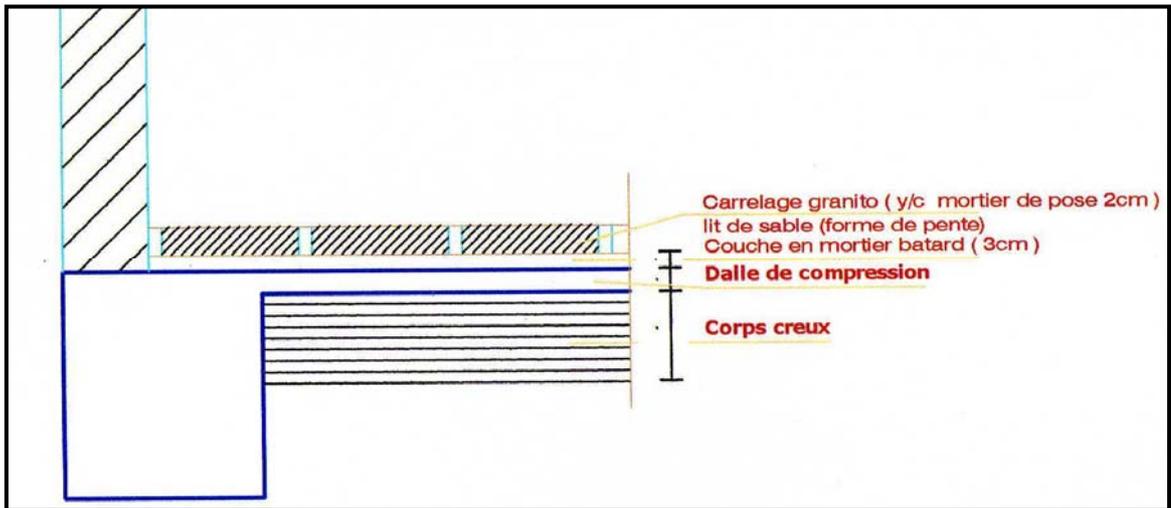


Figure II-31 : détail d'une toiture et d'un mur de la construction contemporaine

Source : auteur 2010

Conclusion :

Par son histoire très riche, sa situation géographique, ses données morpho-géologiques et climatologiques, Tamanrasset est classée dans un contexte particulier.

D'après l'étude historique de la région, les Touaregs qui sont les habitants de l'Ahaggar, menaient une vie des nomades, ce qui ne permettait pas l'émergence de cité et de centre urbain, ceci et justifié par l'utilisation de la tente comme seul abri.

Mais comme toute autre ville algérienne, Tamanrasset a connu une mutation critique, à cause de plusieurs événements remarquables : tel que sa liaison au reste du territoire par la transsaharienne, ce qui a permis un exode massif de la population venant du nord, et qui ont permis l'apparition de quelques quartiers. Chaque quartier de Tamanrasset est caractéristique d'une période de l'histoire de la ville, et constitue le siège d'une communauté culturelle spécifique (Touat, Metlili et du M'zab).

La ville de Tamanrasset a subi une forte urbanisation entraînée par la croissance démographique, la population a quadruplé pendant une trentaine d'année. Ceci est dû, à la sédentarisation des nomades et à l'émigration du nord vers le sud. Ces émigrants des villes du nord, qui sont attirés par la possibilité d'accéder à un logement et des nouveaux emplois engendrés par l'installation d'industrie et la construction d'équipements publics, suite à la promotion de celle-ci en chef lieu de wilaya.

Le phénomène des nouvelles constructions a eu un impact direct sur la ville qui s'est développée très vite. Cependant, cette dynamique de l'habitat, puisant ses modèles de ceux du nord du pays, répétant les mêmes techniques, aussi peu soucieuse de l'environnement climatique que des héritages culturels. Les nouvelles extensions sont, généralement réalisées en rupture

Les performances climatiques des formes urbaines dans les régions Saharienne en général et, Tamanrasset en particulier commencent à l'échelle de la ville. L'agencement du bâti assure la protection et le faible rapport surface/volume, l'inertie et l'ombre.

La maison se compose d'un patio, élément régulateur du climat intérieur. Sous ses diverses formes, il est l'élément principal, qui joue un rôle fondamental dans la régulation thermique à l'intérieur des habitations.

Les habitations traditionnelles sont caractérisées par une masse thermique très importante, obtenu grâce à l'utilisation des matériaux locaux, tel que, le Toub qui est l'un des moyens de construction le plus ancien en zone Saharienne, se compose de la terre associée à d'autres matériaux (végétaux ou minéraux). Elle est l'un des matériaux le plus connus dans le monde pour ses propriétés thermiques intéressantes (diffusivité assez faible et effusivité suffisante), sa large disponibilité et son faible coût.

Chapitre II : ANALYSE CLIMATIQUE ET BIOCLIMATIQUE

Introduction

Le climat agit sur l'homme selon plusieurs composantes : la chaleur, le froid, l'ensoleillement ou le manque de soleil, l'humidité, la neige, le brouillard, l'alternance des jours et des saisons ou l'uniformité.

En tant qu'élément de base à son existence et son bien être, l'homme à besoin d'ambiances bien définies, non seulement dans les pièces de séjours (climat ambiant), mais également dans l'environnement (microclimat).

L'objectif principal de ce chapitre, vise la démonstration du lien très étroit qui existe entre l'architecture et le climat. Cette liaison suppose l'existence d'une interaction entre les éléments du climat et l'objet architectural. C'est-à-dire les effets du climat exercés sur l'architecture, ainsi que l'influence du cadre bâti sur les caractéristiques climatiques d'un site donné. La mise en évidence des concepts liés au premier mode d'influence, c'est-à-dire l'action des facteurs climatiques sur l'architecture, ne peut se faire sans développer des notions préliminaires relatives aux lois et processus de la climatologie.

On abordera dans ce qui suit, la définition des principaux climats dans le monde et en particulier le climat aride, la définition des différents facteurs du climat, les formes d'influence de ces facteurs sur l'atmosphère, la terre et le bâtiment, et enfin l'analyse du climat de Tamanrasset, ainsi que son analyse bioclimatique.

II-1 Types de climat:

Les principaux climats sont définis en fonction de la température et de l'humidité. On distingue quatre catégories de climats en fonction de la température :

- Froid, pour des températures moyennes annuelles de moins de 10°C.
- Tempéré, pour des températures moyennes annuelles comprises entre 10 et 20°C.
- Chaud, pour des températures moyennes annuelles comprises entre 20 et 30°C.
- Très chaud, pour des températures moyennes annuelles supérieures à 30°C.

Ainsi que deux catégories en fonction de l'humidité :

- Sec, pour une humidité relative inférieure à 55%
- Humide, pour une humidité relative supérieure à 55%. (Liébard A. et al, 2005)

II-1-1 Les climats chauds et leurs contextes :

Les climats chauds se subdivisent en plusieurs zones climatiques :

- Le climat équatorial, qui se caractérise par une très forte humidité, des précipitations élevées, des températures chaudes et une faible amplitude thermique.
- Le climat tropical humide, qui se caractérise par une saison de forte pluies chaudes et une saison sèche plus froide.
- Le climat tropical sec, qui se caractérise par trois saisons : une saison chaude et sèche, une saison très chaude et une saison chaude de pluies. L'amplitude thermique entre le jour et la nuit est supérieure à 5°C.
- Le climat désertique, qui nous intéresse et qui se caractérise par une période chaude à très chaude et une période froide, les écarts de températures entre le jour et la nuit sont importants, les précipitations rares.

II-1-2 Situations et caractéristiques du climat désertique :

Considérant que le climat chaud et aride étant le contexte climatique de la présente recherche, il convient par conséquent de donner un aperçu sur les principales particularités de ce climat.

Le climat désertique s'étend entre les latitudes 15° et 30° principalement au Nord de l'équateur. Il englobe les villes de Tamanrasset en Algérie, Assouan en Égypte, Phœnix en USA, Windhoek en Namibie, Alice Springs au centre de l'Australie, Bagdad en Iraq. Ce climat se caractérise par deux saisons plus au moins marquées, à savoir une saison chaude et une saison froide. (Deherd A. et al, 2005)

II-1-2-1 Température de l'air :

Durant la période chaude, les températures atteignent rapidement après le lever du soleil 43 à 49°C, pour descendre à 30°C voire jusqu'à 24°C la nuit. En période froide, les températures oscillent entre 27 et 32°C le jour et de 10 à 18°C la nuit. (Givoni B. 1980)

Les écarts de températures entre le jour et la nuit sont très importants, l'amplitude annuelle est de l'ordre de 11 à 17°C (Givoni B, 1980), ce dernier phénomène étant le résultat de la faible humidité et de l'absence de nuages.

II-1-2-2 Précipitations et Humidité relative :

Les précipitations sont irrégulières et réparties sur quelques semaines, elles varient de 50 à 250mm. On note que, certaines années, il ne pleut pas dans le désert ; d'autres années, des pluies intensives causent des dégâts importants. (Liebard A. et al, 2005)

L'humidité relative évolue de 10 à 45%, les variations journalières de l'humidité peuvent atteindre 15% (Givoni B, 1980).

II-1-2-3 Les vents :

Les vents sont chauds et violents, ils soufflent à dominantes Ouest, plus fort pendant le jour que la nuit, ils peuvent dégénérer en tempête de sable. Ces vents sont à l'origine de l'érosion et de la formation des dunes.

II-1-2-4 Radiation solaire :

Le ciel est généralement clair avec une forte intensité lumineuse. Les températures du sol sont supérieures à celles de l'air. La réverbération sur le sable clair est très importante et peut provoquer des éblouissements gênants. Le rayonnement solaire direct supérieur à 800 Watt sur une surface horizontale (Givoni B, 1980). Les pluies étant rares, le sol est aride et sec, les températures élevées favorisent l'évaporation quasi instantanée de l'eau. La végétation se compose d'herbes et d'arbustes à enracinement superficiel. La courte période de croissance des végétaux ne permet pas d'éviter l'évaporation.

II-1-3 Calcul du degré d'aridité :

Le domaine aride correspond aux régions du globe caractérisé par un bilan hydrique déficitaire, résultant de l'insuffisance des précipitations par rapport aux prélèvements de l'évaporation.

Les climats arides ont donc pour caractéristiques essentielles le manque de pluie.

L'aridité est un phénomène climatique impliquant une pluviométrie faible. Dans les régions dites arides, les précipitations sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle (noté ETP) donné de 2009 (site Internet). Et ont pour cause :

- un déficit en précipitation.
- Le pouvoir de l'albédo : plus l'albédo est fort plus le pouvoir absorbant est faible (beaucoup de rayonnement et de l'énergie solaires sont renvoyés).
- Des températures favorisant l'évapotranspiration.
- L'éloignement de la région par rapport à la mer et donc à l'humidité océanique.

La présence d'un anticyclone durable, empêche le retour de nouvelles précipitations.

Le calcul d'un indice d'aridité, au même titre que la classification des climats, à toujours été un sujet de recherche en climatologie. Il existe une multitude d'indices et de formules, certaines basés sur des critères climatologiques, d'autres biogéographiques.

Parmi les indices les plus connus restent ceux d'Emmanuel de Martonne (1926-1941), Charles Warren Thornthwaite 1948, et Bagnouls et Gaussen (1953-1957).

Malgré ces différentes classifications on trouve 3 degré communs à tous ces indices :

- Hyper aride (10 à 15mm par ans en moyenne).
- Aride (50 à 150mm dans la zone tropical, répartis de manière saisonnière en averses).
- Semi-aride (rythme saisonnier, jusqu'à 500mm de pluies).

II-1-3-1 Indice de Gaussen :

Selon Gaussen, une période donnée est dite aride quand $P < 2 \times T$ (P : précipitation total en mm sur la période donnée, T : la température moyenne en °C sur la période donnée). (Site www.climat2000.com)

Cet indice est très utile quant à l'utilisation d'un diagramme ombrothermique, ce dernier est toujours construit sur le modèle échelle : $1^{\circ}\text{C} = 2\text{mm}$.

II-1-3-2 Indice d'aridité de Martonne :

Noté « I », cet indice permet de déterminer le degré d'aridité d'une région. Pour le calculer, on utilise la formule $I = P / (T + 10)$ où P désigne les précipitations totales annuelles, et T désigne la température moyenne annuelle.

Et pour un mois $I = 12p / (t + 10)$ où p : précipitations totales mensuelles, t : température moyenne mensuelle.

Tableau II-2 : indice d'aridité de Martonne

Source : (Site www.climat2000.com).

I=0	
Région hyper arides « déserts absolus »	(Atacama Chili) Reg du Tanezrouft (Sahara) Vallée de la mort
I=5	
Région aride Région désertique	Sahara Les déserts d'Arizona et Sonora Dashté kavir, désespoir (Iran) Désert du Thar (l'Inde) Désert de Tebernas (prés d'Almeria)
I=10	
Région semi-aride	Sahel Kalahari Chaco (l'Argentine) Nordeste (Brésil)
I=20	
Région semi-humide	
I>30	
Région humide	

II-1-4 Importance et effet du climat :

L'étude climatologique consiste en la corrélation de facteurs climatiques, qui sont une ressource naturelle, qui affecte une bonne partie des activités humaines, telles que la production agricole, la consommation d'énergie, la disposition et la conception architecturales des bâtiments, etc.

Le climat devrait être considéré avec un grand intérêt, et qui peut être effectué en conformité avec les autres paramètres culturels. Cependant, il devrait être considéré comme un

facteur de modification de la forme urbaine (le site urbain, les axes de développement, l'agrandissement des routes et artères, la disposition des espaces verts, ainsi que l'architecture des constructions), plutôt qu'un détriment (Neuf, 1978).

L'influence du climat peut être identifiée à deux niveaux différents : l'influence directe et l'influence indirect.

- L'influence directe est l'effet du climat extérieur, où les éléments météorologiques n'ont pas été modifiés sensiblement par l'environnement bâti. Ici le climat peut exercer une influence en créant des conditions d'environnement, entraverons ou encouragerons diverses activités.
- L'influence indirect du climat est l'influence, que les solutions architecturales créées pour répondre à quelques précisions climatiques, exercent sur l'interaction sociale de l'homme en vertu de leurs caractéristiques physiques et symboliques spécifiques.

Pour adapter une construction au milieu ambiant, la prise de conscience du climat est primordiale. La première étape est donc une analyse du climat dans lequel l'architecte doit construire.

II-1-4-1 Les éléments du climat :

Le concept du climat peut être défini selon deux aspects :

a- Un aspect lié à la perception psychologique et physiologique de l'être humain, les effets du temps sont en général ressentis différemment par l'homme, la sensation de fraîcheur ou de chaleur varie d'un individu à un autre.

Cette différenciation dépend en partie des vêtements ou de l'activité (partie 1, §II-1), mais demeure néanmoins lié à la pratique du climat. Le corps habitué à de telle température ambiante ressent les effets différemment d'un autre non habitué soumis à la même température.

Cette perception psychologique du climat ne doit pas être négligée, puisque elle va servir de base à la définition des principes biologiques du confort humain (partie 1, §II-4).

b- Le deuxième aspect, plus important, considère le temps tout d'abord en tant que phénomène physique, qu'on doit étudier en employant des instruments ou des échelles de mesure, qui soient les mêmes partout et pour tous.

Le climat phénomène physique, est donc le résultat d'un grand nombre d'éléments qui se combinent entre eux, pour donner une certaine sensation. Il n'est mesuré que certains éléments qui sont choisis pour caractériser le temps. Les principaux éléments climatiques à considérer dans la conception urbaine en générale et lors de la conception d'un bâtiment en particulier, et qui influent sur le confort humain sont : le soleil (la radiation) la température, l'humidité, le vent et les précipitations.

II-2 Analyse des caractéristiques du climat de Tamanrasset :

Pour mieux préciser l'impact climatique sur la ville de Tamanrasset, nous allons passer en revue quelques éléments essentiels et conséquents qui sont : la situation géographique de Tamanrasset, les différentes zones climatiques et les facteurs du climat.

II-2-1 Caractéristiques géographiques et climatiques de Tamanrasset :

Afin d'éclaircir les effets climatiques sur la ville de Tamanrasset, nous devons exposer tout d'abord les différents facteurs qui influent sur son climat.

La climatologie de la région du Hoggar (Tamanrasset), a des caractéristiques du climat saharien (§II-1-1) aux quelles s'ajoute des modifications dues à l'altitude et aux influences tropicales. Ces modifications ont un rôle adoucissant : vent atténué, pluies plus fréquentes, mais parfois aggravant les écarts de températures. L'altitude tempère la chaleur de l'été. La région se trouve dans une zone de haute pression causée par les vents alizés qui soufflent dans tout le Tassili N'Ajjer.

La ville de Tamanrasset est située à l'extrême sud du pays, au méridien 05°31'08'' Est (longitude) et la parallèle 22°47'31'' Nord (latitude), son altitude est importante et égale à 1372m.

La wilaya de Tamanrasset est traversée par le tropique du cancer à 40 km au nord (DPAT 2002).

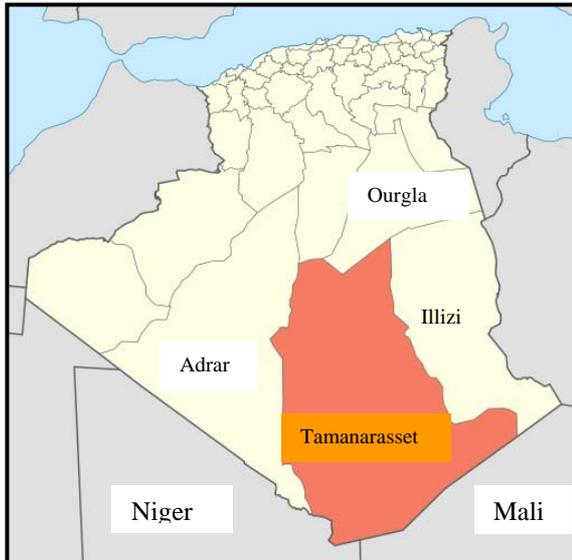


Figure II-32 : situation administrative de Tamanrasset
Source : fr.wikipedia.org/wiki/Tamanrasset

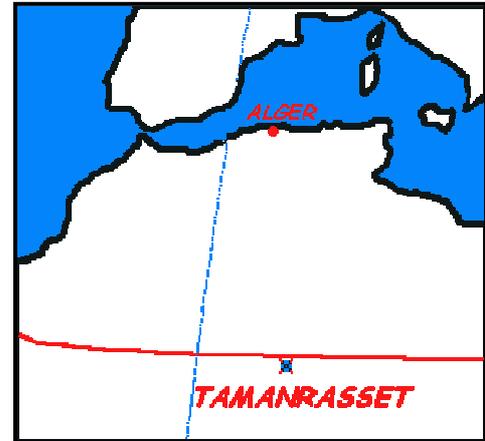


Figure II-33 : situation par rapport au tropique du cancer
Source : fr.wikipedia.org/wiki/Tamanrasset

II-2-2 Localisation de Tamanrasset par rapport aux différentes zones climatiques :

D'après la classification donnée par les recommandations architecturales (ministère de l'habitat 1993), le climat en Algérie est partagé en deux zones climatiques d'hiver et d'été, nous pouvons situer le climat de Tamanrasset comme suit :

- Zone climatique d'hiver :

Tamanrasset se trouve dans la zone H3C. Remarquable par des hivers très froids la nuit par rapport au jour, mais parfois le froid persiste même durant la journée. Les écarts de température entre le jour et la nuit sont importants.

- Zone climatique d'été :

Tamanrasset se situe dans la zone E3 qui subit l'influence de la latitude et se caractérise par des étés très chauds et secs, avec une amplitude thermique importante.

En prenant chaque élément à part. L'étude climatologique de la ville se base d'une part sur les données collectées auprès de l'O.N.M (office nationale de la météorologie) station de Tamanrasset, durant une période de dix ans s'étalant de 2000 à 2009. Et d'autre part en utilisant l'atlas solaire de l'Algérie. La figure II- 34 représente toutes les données récapitulatives du climat de la ville de Tamanrasset.

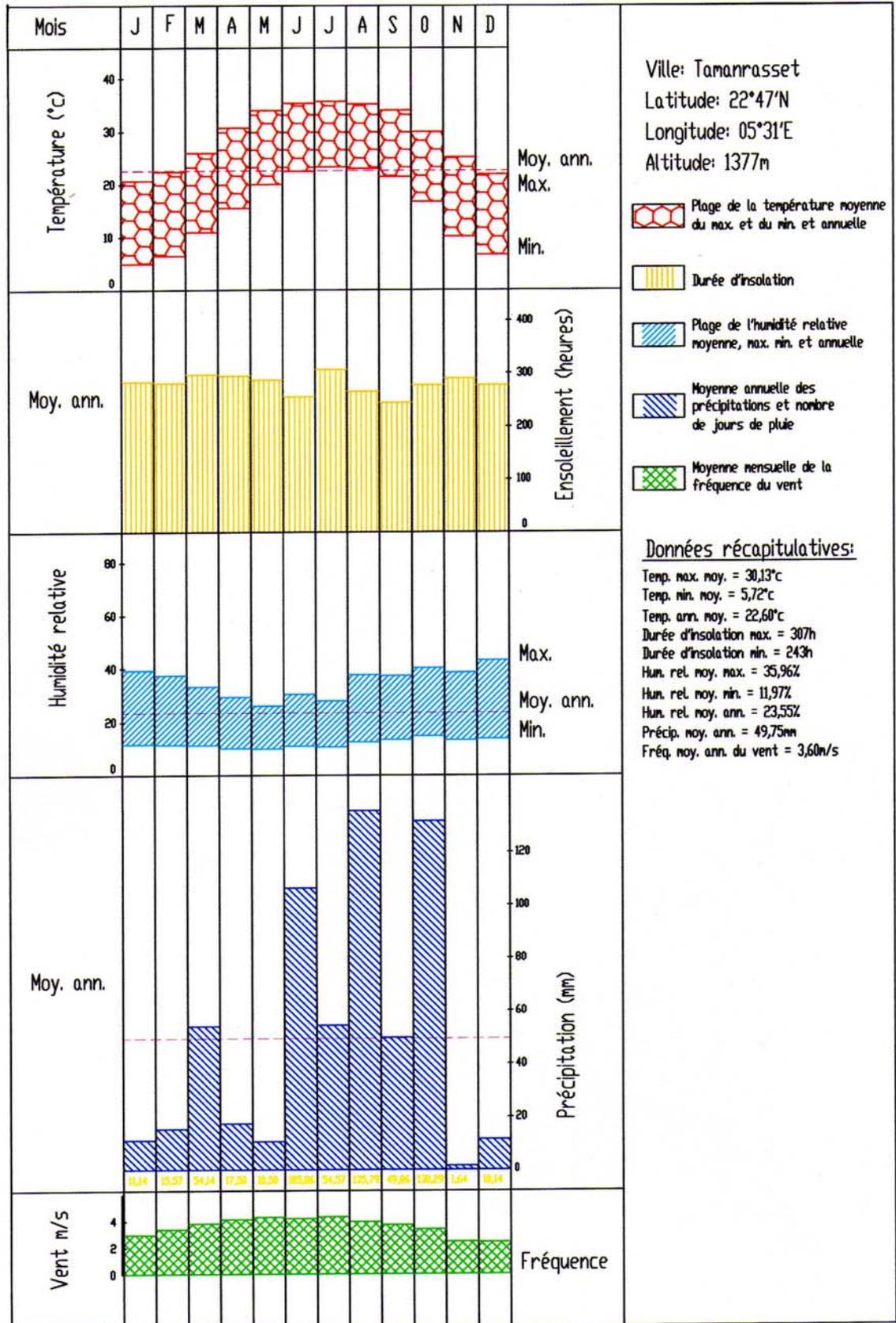


Figure II-34 : représentation du climat de tamanrasset (période 2000-2009)
 Source : station météorologique de Tamanrasset 2010

II-2-3 Le rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est défini comme le déplacement de l'énergie sous forme de radiation, cette radiation solaire transmet donc de la chaleur sous forme d'ondes électromagnétiques constituant ainsi le spectre solaire. Comme le rayonnement solaire traverse l'atmosphère terrestre, son intensité est diminuée et la distribution spectrale est modifiée par l'absorption, la réflexion et la diffusion (Givoni B. 1980).

L'importance du rayonnement solaire reçu à la surface du sol dépend de la spécificité de chaque région, la latitude du lieu, relief et la nature du sol. Il représente trois composantes :

- Le rayonnement direct.
- Le rayonnement diffus
- Le rayonnement réfléchi ou albédo qui dépend de la nature du sol.
-

Le rayonnement solaire mesuré hors atmosphère, a une puissance de 1300W/m^2 de surface exposé, lorsqu'il atteint le sol, il est de 1100W/m^2 lorsque le ciel est clair et bien dégagé (lavigne P, 1989)

II-2-3-1 Importance et effet du rayonnement solaire en architecture :

Les rapports entre l'architecture et le soleil sont quasiment passionnels, même si la démarche du concepteur n'est pas guidée par un souci d'économie d'énergie. Le soleil occupe par ses connotations culturelles et psychologiques une place très importante. Il y a dans l'inconscient de tout architecte, mais aussi de tout consommateur d'architecture, un esthétisme du soleil et de sa lumière.

Si l'on rappelle enfin la fonction hygiéniste de notre étoile, on voit qu'elle pèse beaucoup sur les processus de conception quels que soient les parties pris. (Charte d'Athènes point N°10)

La course du soleil dans le ciel, est l'une des connaissances de base de l'architecte. Il doit savoir la repérer, implanter un bâtiment par rapport à cette course (orientation), jouer avec l'ombre et la lumière, à l'intérieur et à l'extérieur des espaces aménagés.

Le soleil doit être connu par l’architecte pour les questions élémentaires d’énergie qu’il induit. Le potentiel solaire d’un site fait implicitement partie des connaissances à assimiler dans toute l’étude thermique. Il est donc nécessaire de renforcer nos connaissances sur les effets thermiques du soleil et de mettre en évidence son rapport avec le bâti.

L’analyse de la composante rayonnement solaire de la ville de Tamanrasset se base essentiellement, sur les valeurs des durées d’insolation mesurée en heures et les valeurs des énergies incidentes sur les différents plans (figures II-35 et II-36). A partir de ces données, on remarque que la ville reçoit les rayons solaires durant toute l’année, d’une durée d’insolation égale à 3360 heures, la valeur la plus élevée a été enregistrée pendant le mois de Juillet 307heurs. (station météorologique de Tamanrasset 2010)

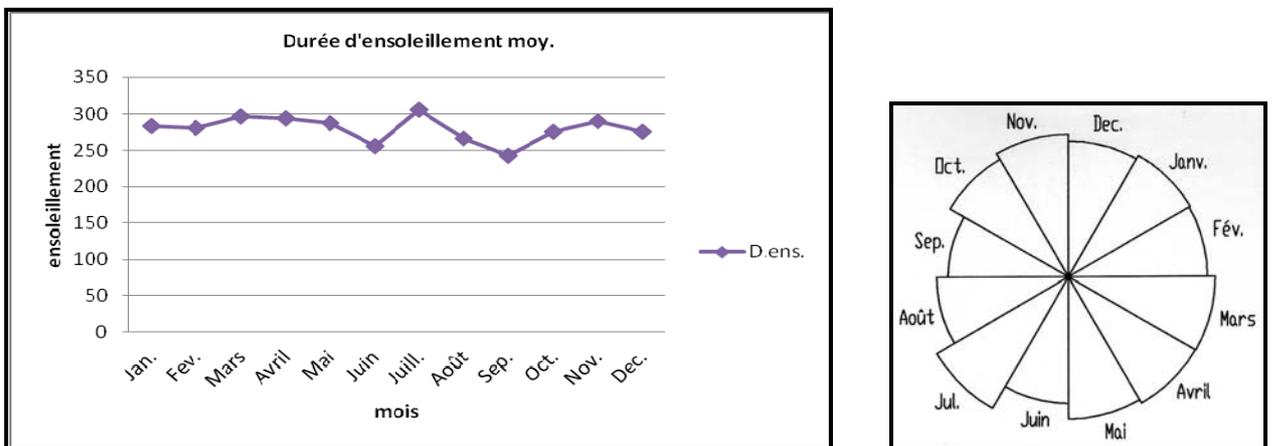


Figure II-35 : intensité et rayonnement solaire période 2000/2009

Source : station météorologique de Tamanrasset 2010

Il est évident qu’une surface horizontale est exposée aux rayonnements solaires pendant toute la journée, donc, elle reçoit le maximum d’énergie solaire surtout en été, elle est de l’ordre de 7644Wh/m², une surface verticale orientée au sud reçoit moins d’énergie 1814wh/m² qu’une surface orientée à l’Est ou l’ouest (4476Wh/m²). Par contre en hiver la même surface Sud reçoit le maximum d’énergie (6342Wh/m²) contre 361Wh/m² celle de l’Est ou l’Ouest. (Capderau H. 1985)

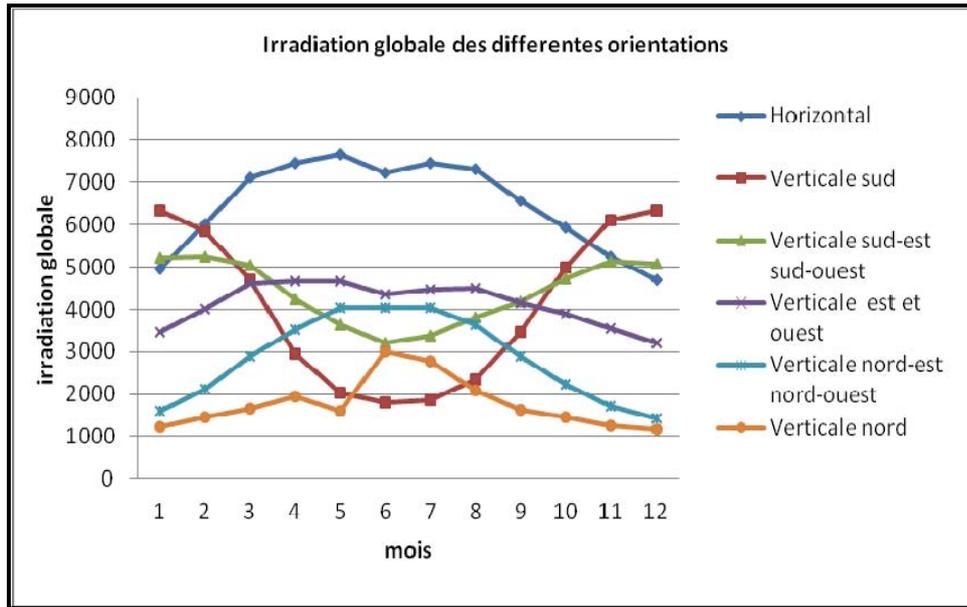


Figure II-36 : rayonnement solaire de différentes orientations

Source : Capderau H. 1985

II-2-4 La température de l'air :

C'est une grandeur physique qui indique le taux d'échauffement et de refroidissement de la surface de la terre. (CRAU 1988)

Les températures sont toutefois des données informatives nécessaires à l'architecte, puisqu'elles font parties de la description du climat, elles pourront donc le renseigner sur la rigueur du climat et sur les sollicitations auxquelles seront soumises les composantes de l'enveloppe.

La température est influencée par plusieurs facteurs:

L'altitude, la surface du sol, masse d'eau, la couverture nuageuse, les mouvements d'air. L'étude du tableau de (annexe 1) et de la courbe des moyennes mensuelles des températures de la ville de Tamanrasset (figure II-37) nous montrent que la température évolue d'une manière régulière, la température moyenne annuelle est de 22.7°C, et que les amplitudes ne sont pas très contrastées en elles, mais elles sont importantes, on note 15.7°C pour le mois de Janvier et 9°C en Juillet. La moyenne mensuelle de la période de décembre à février qui est égale à 21°C est inférieure à la moyenne annuelle, par contre celle de Mars à Novembre 32°C est supérieure. Elle est plus longue.

Une période douce englobe les mois de Novembre, Février et Mars d'où les températures moyennes varient entre 14.5°C et 19°C

D'après (J.L.Izard), la zone de confort, est comprise entre 23-26°C. La température moyenne du mois d'octobre et avril se range dans la cote de la période confortable, avec des températures moyenne égale à 23.7°C.

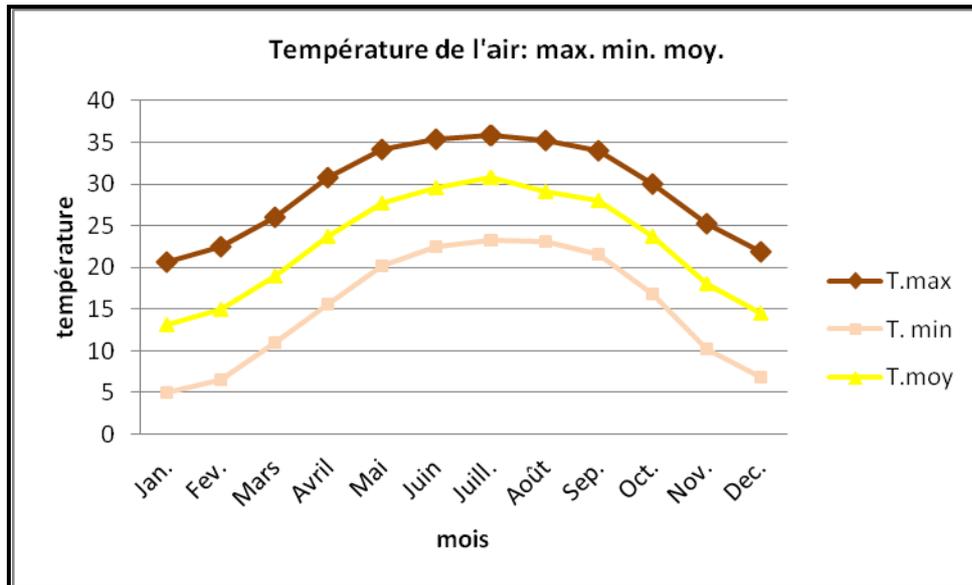


Figure II-37 : température de l'air période 2000/2009

Source : station météorologique de Tamanrasset 2010

L'hiver se caractérise par des températures basses, la moyenne mensuelle de 5°C correspond au mois de janvier, le plus froid avec une valeur extrême égale à 1,5°C.

L'été est chaud, 31°C est la température moyenne mensuelle du mois de Juillet qui est considéré le plus chaud. La température maximale est égale à 36°C et la valeur extrême est de 37,5°C.

L'absence et la diminution du couvert végétal défavorise l'évapotranspiration et la réduction de l'échauffement de l'air.

On peut rajouter aussi, qu'en ville les apports gratuits des véhicules, les grandes surfaces goudronnées et les espaces nus peuvent augmenter l'absorption et la réflexion des rayons solaires, participent au réchauffement de l'atmosphère. Cela est confirmé dans la figure II-38 sur laquelle on remarque que la température de la période 2000-2009 est supérieure à celle enregistrée pendant la période qui s'étale entre 1937 et 1968, cette différence égale à 1,5°C, cela

est dû aux changements qu'a connus la ville, telles que l'extension urbaine, l'augmentation des surfaces minérales, ainsi que les différents facteurs qui ont une influence sur la température de l'air.

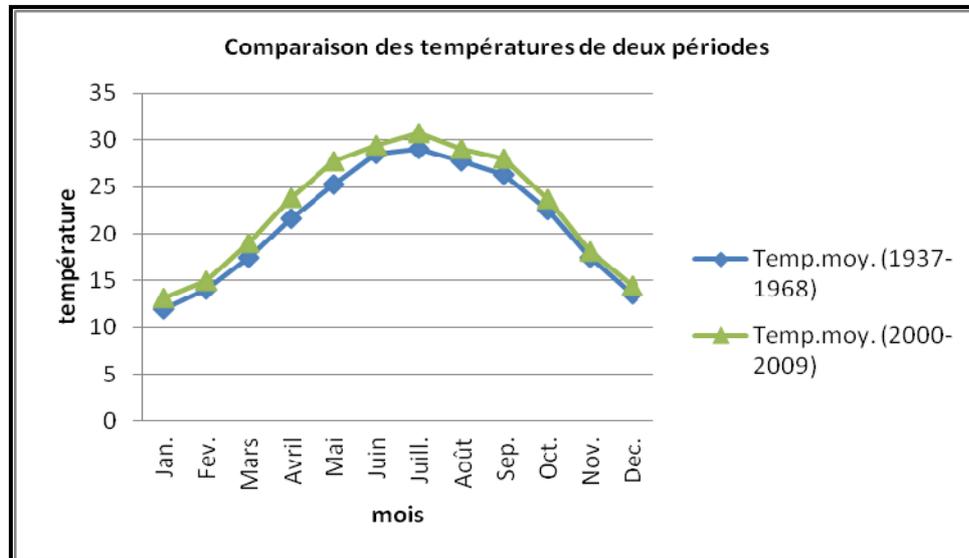


Figure II-38 : comparaison entre la température de la période 2000/2009 et 1937/1968

Source : station météorologique de Tamanrasset 2010

II-2-5 L'humidité atmosphérique :

Par humidité on désigne la quantité de vapeur d'eau dans l'air, qui varie simultanément avec la température. Cette dernière est considérée comme le principal facteur déterminant. Cette variation est subordonnée à des régimes annuels du rayonnement solaire et à des températures moyennes, ce qui provoque une répartition disproportionnée de la vapeur dans les différentes régions sur terre. (Givoni B, 1978)

Elle est relative à la teneur de l'atmosphère en vapeur d'eau, cette vapeur provient principalement des masses d'eau de la végétation, des surfaces humides et de l'humidité de l'air. C'est un phénomène de condensation, la pression partielle de vapeur d'eau, qui est le critère de confort est pris comme référence d'humidité (partie 1, §II-5).

L'humidité relative : c'est le rapport entre la quantité de vapeur d'eau contenu dans l'air et la quantité maximale qu'il pourra contenir (%) (Givon B, 1978)

Tamanrasset, de part sa situation géographique, les vents venant du nord-ouest pendant l'hiver jouent un rôle important dans la variation du taux d'humidité. Sa moyenne durant la période analysée est d'environ 21%.

Sur la figure II -39, on remarque que l'évolution de la courbe des moyennes mensuelles minimale est faible avec des valeurs qui varient entre 10 et 15%, par contre la maximale évolue d'une façon irrégulière. En effet, en hiver, on note des valeurs considérables qui arrivent jusqu'à 30 et 40% en décembre et janvier (tableau 3, annexes 1) à cause de :

- la température qui est plus basse et des vents qui soufflent du nord.

Par contre en été, la valeur de l'humidité relative chute pour atteindre son minimum, surtout en juillet, elle est égale à 28%, et en mai, le mois le plus sec d'où une humidité relative égale à 26%, elle est dû à la sécheresse, un taux de pluviométrie égale à 10mm, et aux vents chauds venant des directions est et sud-est d'une fréquence importante.

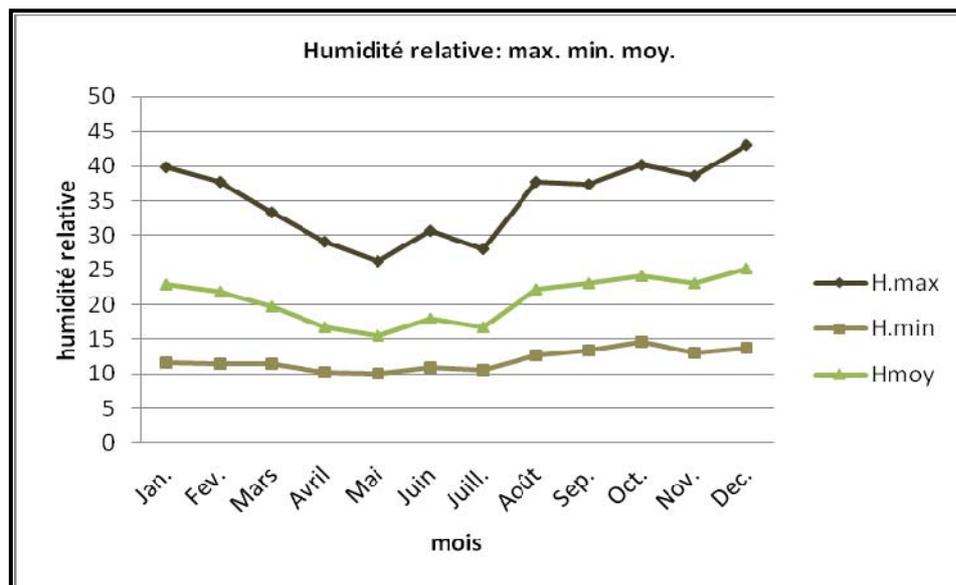


Figure II-39 : humidité relative de la période 2000/2009

Source : station météorologique de Tamanrasset 2010

II-2-6 Les précipitations :

Les précipitations sont produites par la condensation de l'air dans les couches supérieures de l'atmosphère, sous forme de nuages, composés de petites gouttelettes d'eau et parfois des cristaux de glaces. Au fur et à mesure que l'air continu de s'élever, la pression de l'air diminue,

le poids des gouttelettes augmentent, ce qui provoquent par la suite la chute de la pluie ou de la neige (givoni B, 1978). Elles sont influencées par les mouvements des vents, et par le changement dans les régimes de températures. D'après figure II-40 des précipitations de la période 2000-2009, on remarque que les précipitations de Tamanrasset sont irrégulières et que la répartition annuelle est marquée par des mois secs et des mois pluvieux.

La courbe se caractérise par une allure particulière, car elle suit la forme des dents de scie, cela est remarqué durant la période qui s'étale de Mai à Novembre. On remarque aussi que les mois les plus chauds sont les plus pluvieux tels que août et octobre avec une moyenne égale à 135mm, notons qu'octobre 2002 a marqué une quantité égale à 802mm.

La période sèche correspond à la période froide, elle caractérise les mois de décembre, janvier, et février avec une valeur moyenne égale a 12mm.

Le mois de novembre a marqué la plus faible quantité de pluies 1,64mm.

Le degré d'aridité du climat de Tamanrasset a été vérifié par la méthode de calcul de l'indice d'aridité de MARTONE §I-3, $I=1.5 < 5 \rightarrow$ zone aride, ce qui confirme que le climat de Tamanrasset est un climat aride.

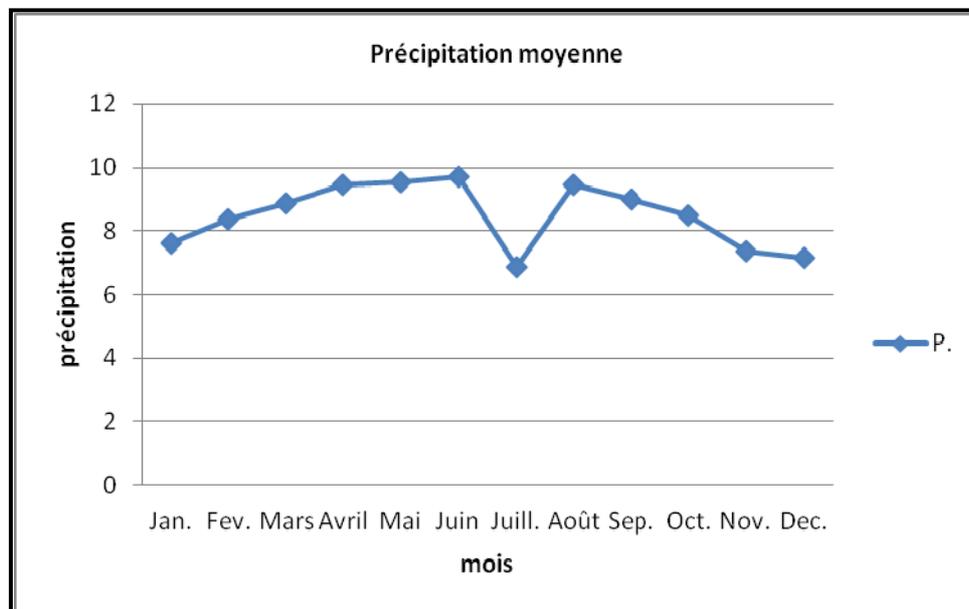


Figure II-40 : précipitations(en mm) de la période 2000/2009

Source : station météorologique de Tamanrasset 2010

II-2-7 La fréquence et les directions des vents :

Le vent est de l'air en mouvement, dû aux variations de pressions et de température de l'atmosphère en divers points de la surface du globe. L'air se déplace d'une zone de haute pression (anti cyclone) vers une zone de basse pression (dépression). (Le chapelier 1981)

L'orientation et la fréquence des vents dominant dépendent de la distribution des pressions atmosphériques, de la hauteur libre au dessus du sol, de la sinuosité et des accidents et des effets de la peau du relief local, et changent avec les saisons.

Le vent est défini par deux paramètres : sa vitesse moyenne et sa direction ou son sens. Le vent à Tamanrasset varie entre 20% et 43%, avec une moyenne annuelle de 30%, il est considéré comme un vent calme (figure II-41).

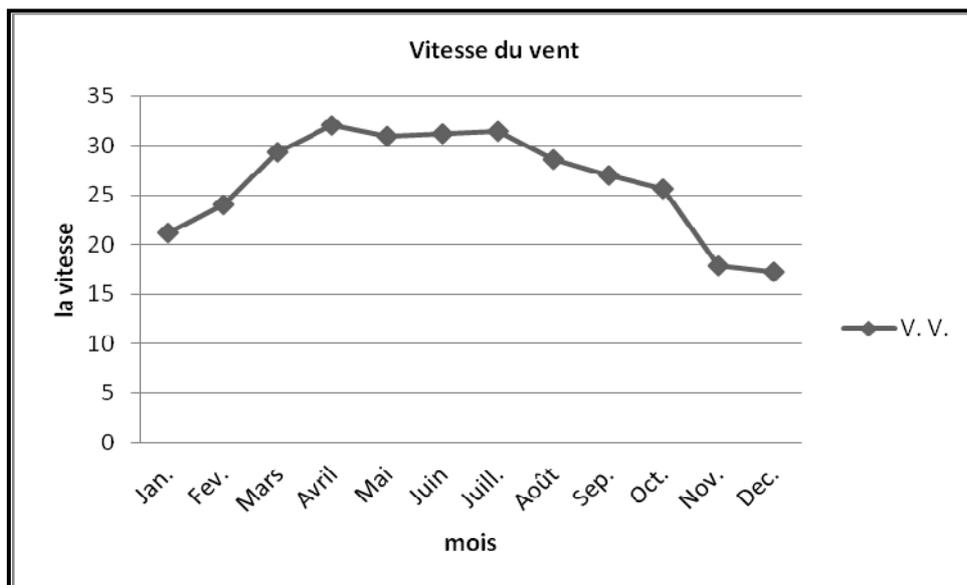


Figure II-41 : vitesse du vent période 2000/2009

Source : station météorologique de Tamanrasset 2010

Pour la direction, durant la période froide (l'hiver), de décembre à avril, on constate sur la figure II-42 que les vents de direction nord-ouest (N-O) sont les plus dominants avec des fréquences qui varient entre 13 et 20%.

En été, de juin à septembre les vents les plus fréquents viennent de la direction est et sud-est (S-E) valeur comprise entre 16 et 24%, la fréquence atteint son maximum le mois de juillet avec une valeur égale à 24.7%.

Pour ce qui est de la direction nord (N), la fréquence la plus importante est enregistrée entre février et mai, sa valeur est comprise entre 10 et 13.5%.

La fréquence la plus faible qui varie de 3 à 4% vient des directions nord-est (NE), sud-ouest (S-O) et ouest (O).

Cependant, les données météorologiques pour la période étudiée confirment qu'à l'échelle de l'année, les directions est et sud-est sont les plus importantes, avec une fréquence égale à 14% (moyenne annuelle).

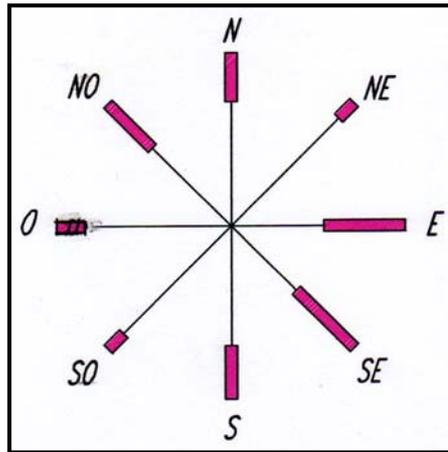


Figure II-42 : fréquence et direction du vent

Source : station météorologique de Tamanrasset 2010

Conclusion :

Bien que dans notre présentation du climat semble être longue, nous avons axé nos propos sur la définition d'un thème très complexe. Sa relation à l'architecture reste importante comme nous l'avons vu au cours des chapitres précédents.

Toutefois, il nous paraît aujourd'hui difficile de bâtir et aménager. En faisant abstraction du climat, pour plusieurs raisons que nous avons abordées auparavant, dans de telles hypothèses, les contenus scientifiques visant à définir le climat et destiné, à faire progresser l'architecture vers une meilleure "adaptation" climatique.

A partir des données des différents paramètres du climat, on peut conclure que Tamanrasset se caractérise par un climat aride et chaud, influencé par plusieurs facteurs tels que l'altitude, la situation géographique etc.

Faisant partie des zones arides, le climat de Tamanrasset fait apparaître que les conditions d'été prévalent sur celle d'hiver, cela est dû à la rigueur du rayonnement solaire, et se traduit par des températures moyennes élevées.

La température moyenne mensuelle est de 13°C en janvier et de 31°C au mois de juillet, la température maximale enregistrée en Juillet (le mois le plus chaud) est de 37°C, la minimale en Janvier 5°C (le mois le plus froid).

L'humidité relative variant de 40% à 43% pendant les périodes froides et atteint son minimum en périodes chaudes (26%), ce qui est remarquable c'est que Tamanrasset est la zone la plus sèche de tout le Sud Algérien. (étude de la station météorologique de Tamanrasset)

Les vents sont très irréguliers, la plus grande fréquence est enregistrée en Juillet avec une fréquence allant jusqu'à 25% de direction (S et S-E), et en hiver de direction (Net N-O) car les directions suivent l'altitude et les saisons. Les vents de sable ne touchent que peu de régions. Tamanrasset se trouve dans une zone de haute pression causée par les vents alizés qui soufflent dans tout le Tassili N' Hagggar. Toutefois le maximum des précipitations se situe en Aout 136mm et octobre 130mm, correspondent aux moussons tropicales, la région est alors caractérisée, par des pluies d'été, qui sont bloquées par le massif de l'atakor, et qui reçoit une moyenne de 50 à 130mm, cela nous mène à dire que la zone est aride, d'après son indice d'aridité.

Les données climatiques mettent en évidence le caractère rigoureux du climat. Ce qui, exige certaines mesures spécifiques sur les plans conceptuel, technique et de réalisation. Ce climat offre donc un bon exemple de la nécessité de considérer les conditions locales, d'appliquer les différentes approches, et de choisir des solutions architecturales adéquates.

Les bâtiments doivent être conçu et construits de façon à fournir une protection contre la chaleur en été, et contre le froid en hiver, sans avoir recours à des systèmes de chauffage ou de climatisation coûteux.

II-3 analyse bioclimatique de Tamanrasset :

L'analyse bioclimatique que nous aborderons au cours de ce chapitre, nous fournira, un outil d'évaluation bioclimatique qui est la base de toute conception architecturale, ayant pour objet de réaliser un environnement climatique équilibré.

Les éléments du climat qu'on vient de définir dans le chapitre précédent constituent des paramètres de base pour une telle analyse.

L'analyse bioclimatique du climat de Tamanrasset s'élabore en plusieurs opérations, qui nous fourniront un outil de lecture et d'interprétation.

- La première étape, se base sur le digramme psychrométrique, elle nous permet de déterminer les périodes qui nécessitent le chauffage ou la climatisation, ainsi que les solutions optimales pour maintenir les conditions de confort. Les grands besoins peuvent être satisfaits par des types d'interventions plus « sages » et mieux adaptées.
- La deuxième étape, concerne l'application de la table de Mahoney, cette dernière nous permet d'évaluer les limites des températures de confort nocturnes et diurnes pour les deux périodes chaude et froide.

II-3-1 Diagramme bioclimatique :

Pour résoudre le problème de confort thermique, plusieurs chercheurs ont essayé de mettre à la disposition des architectes et concepteurs des outils graphiques, qui permettent de ramener les conditions intérieures dans la zone de confort ou le plus proche possible.

"Le diagramme bioclimatique" est un outil de synthèse qui permet de choisir les grandes options architecturales à partir des exigences du confort thermique et des profils du climat extérieur.

Le principe consiste à donner, pour certains bâtiments, les conditions extérieures pour lesquelles, la réponse de l'enveloppe et de la structure conduira à des ambiances intérieures comprises à l'intérieur d'une zone de confort préalablement définie.

La réponse du bâtiment étant intrinsèque, ce sont les données météorologiques qui, utilisées en entrées du diagramme, permettent de dire si telle solution architecturale est correcte

ou non, par rapport au climat du lieu et, quelles précautions devront être prises pour réintégrer éventuellement les conditions de confort.

En 1953, V.OLGYAY a été le premier à maîtriser au point, un diagramme bioclimatique, et a approfondi la notion du confort thermique. On peut ainsi évaluer les exigences de confort, mais il ne donne pas de solution globale pour la conception des bâtiments, seulement des corrections ou des dispositifs tels que l'humidification, la ventilation sont présentés.

La méthode de Givoni est plus complète, du fait du grand nombre d'artifice architecturaux et techniques envisageables. Il indiqua, en outre, certaines techniques de contrôles climatiques passives, tel que, l'inertie thermique, la ventilation, l'humidification de l'air etc. qui pouvaient ramener l'ambiance dans les conditions de la zone de confort. Givoni appela ce diagramme, le « diagramme bioclimatique du bâtiment ».

Le diagramme bioclimatique permet donc de visualiser en même temps l'exigence humaine, le climat local et la "réponse" qualitative globale des solutions architecturales : c'est un outil de synthèse pour l'instant qualitatif, mais cependant déjà très explicite sur ce que doit être une conception bioclimatique de l'architecture dès le premier coup de crayon.

II-3-2 Zone de contrôle potentiel (Steeve Szockolay) :

Szockolay a essayé de rassembler des différentes réflexions sur la définition de la température neutre et de la zone de confort. Il établit donc à la base de température effective, une zone de confort propre à chaque saison et qui tienne compte des caractéristiques du climat local. Sa méthode est semblable à l'approche proposée par Givoni B (1978). Sur la base de la corrélation d'Auliciems (Auliciems A, 1981) la neutralité thermique qui a été prise en considération pour définir la zone de confort est donnée par l'équation suivante : $T_n = 17.6 + 0.31(T_M)$ où T_M : température moyenne extérieure, T_n : température neutre.

Puis il définit avec précision deux zones qui sont "la zone de confort" et "la zone de contrôle potentielle" pour diverses stratégies de conception passives, qui devraient être prises en considération, lorsque les conditions climatiques sont en dehors de la zone de confort, en particulier pendant les périodes sous chauffées ou surchauffées. La procédure détaillée avec

laquelle la zone de confort et les différentes stratégies de refroidissement ont été déterminées pour le climat de Tamanrasset et se trouve en annexe 2, ainsi que sur le tableau récapitulatif N° 3

Tableau II-3 : résultats des calculs de la méthode Szockolay

Source : Auteur, 2010

Les limites des zones de contrôles passifs (vitesse d'air 1m/s)																	
Tm	Tn	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
22.7	24.6	22	26	23.6	28.4	31.6	30.7	35.1	37.3	36.1	42	31	32.7	22	27.6	36	39.6
Les limites des zones de contrôle passif (vitesse d'air 1.5m/s)																	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32.5	34.4	-	28.8	-	-

Tableau II-4 : données climatiques nécessaires pour l'analyse bioclimatique

Source : station météorologique de Tamanrasset. Année 2010

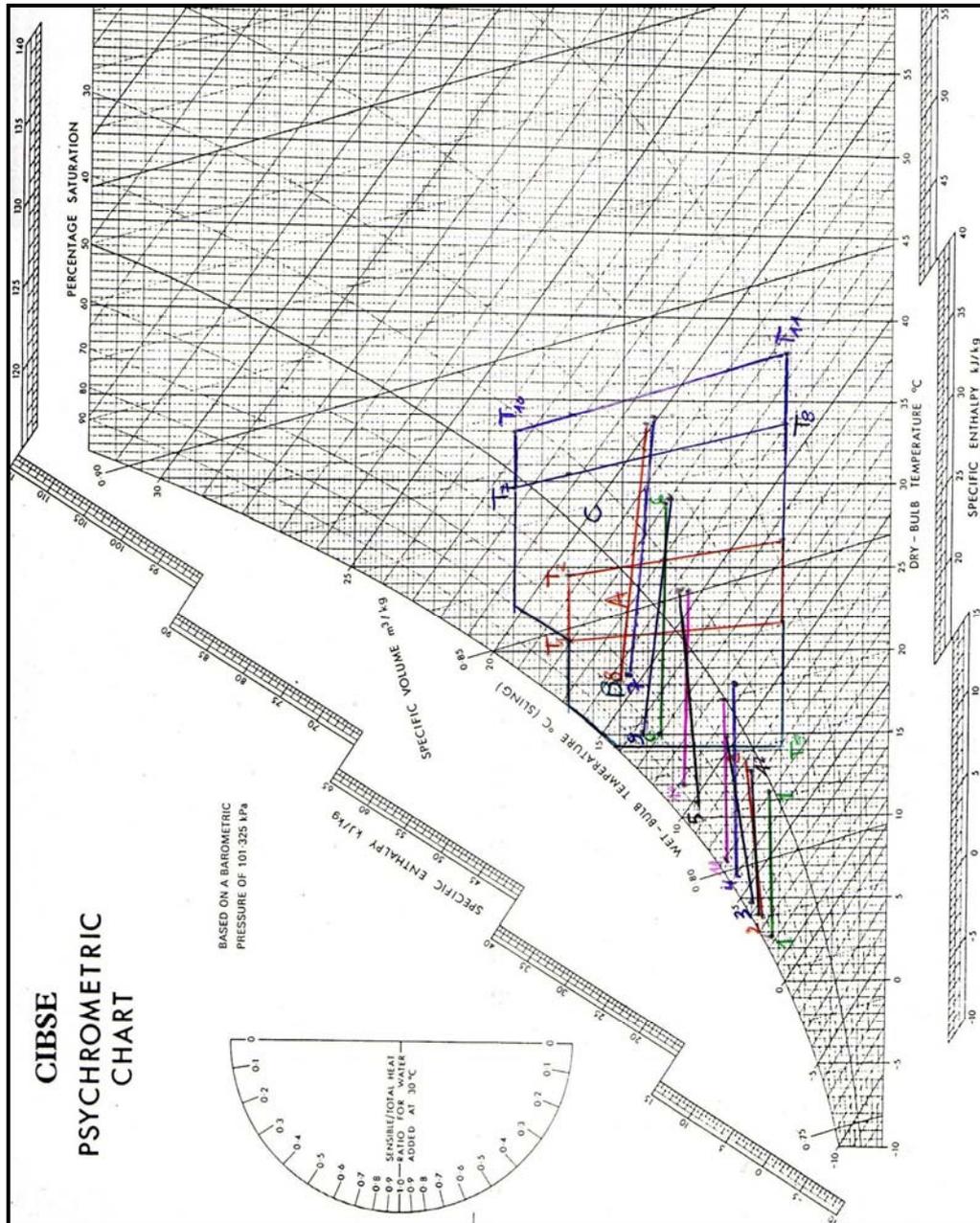
Mois/ paramètres	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T° min	5	6.5	11	15.6	20	22.5	23.3	23	21.5	16.8	10.3	6.7
HR max	39.8	37.6	33.3	29	26.2	30.7	28	37.7	37.4	40.1	38.6	43
T° max	20.7	22.4	26	30.8	34	35.4	35.9	35.3	34	30	25.2	21.8
HR min	11.7	11.5	11.4	10	10.8	10.5	10.5	12.6	13.4	14.6	13	13.7

II-3-3 Interprétation des résultats :

Une fois les limites de chaque zone sont définies, les différentes stratégies (passive ou active) de conceptions sont tracées sur le diagramme psychrométrique, en plus de la présentation de chaque mois par une ligne droite déterminée par deux coordonnées (T min – HR max/ T max- HR min). Les résultats obtenus suite à cette représentation sont les suivants :

Sur la figure II -43, on remarque qu'une bonne période se trouve en dehors de la zone de confort, on a donc une période fraîche qui s'étale du mois de Novembre jusqu'à Février, elle glisse vers la gauche c'est-à-dire vers la zone de chauffage solaire passif, par conséquent une pénétration du soleil est recommandée pour ramener l'ambiance, plus près de la zone de confort. Cet objectif peu être atteint grâce à la maîtrise de l'orientation et des tailles des ouvertures, ainsi que l'utilisation judicieuse des matériaux (partie 1, §IV-1-2 et §IV-6).

D'après la figure II-44, Les mois d'Avril et Mai s'étalent entre deux zones de chauffage solaire passif et la zone de refroidissement évaporatif direct.
 Une partie du segment du mois d'Octobre se situe dans la zone de confort et l'autre partie dans la zone de chauffage passif.

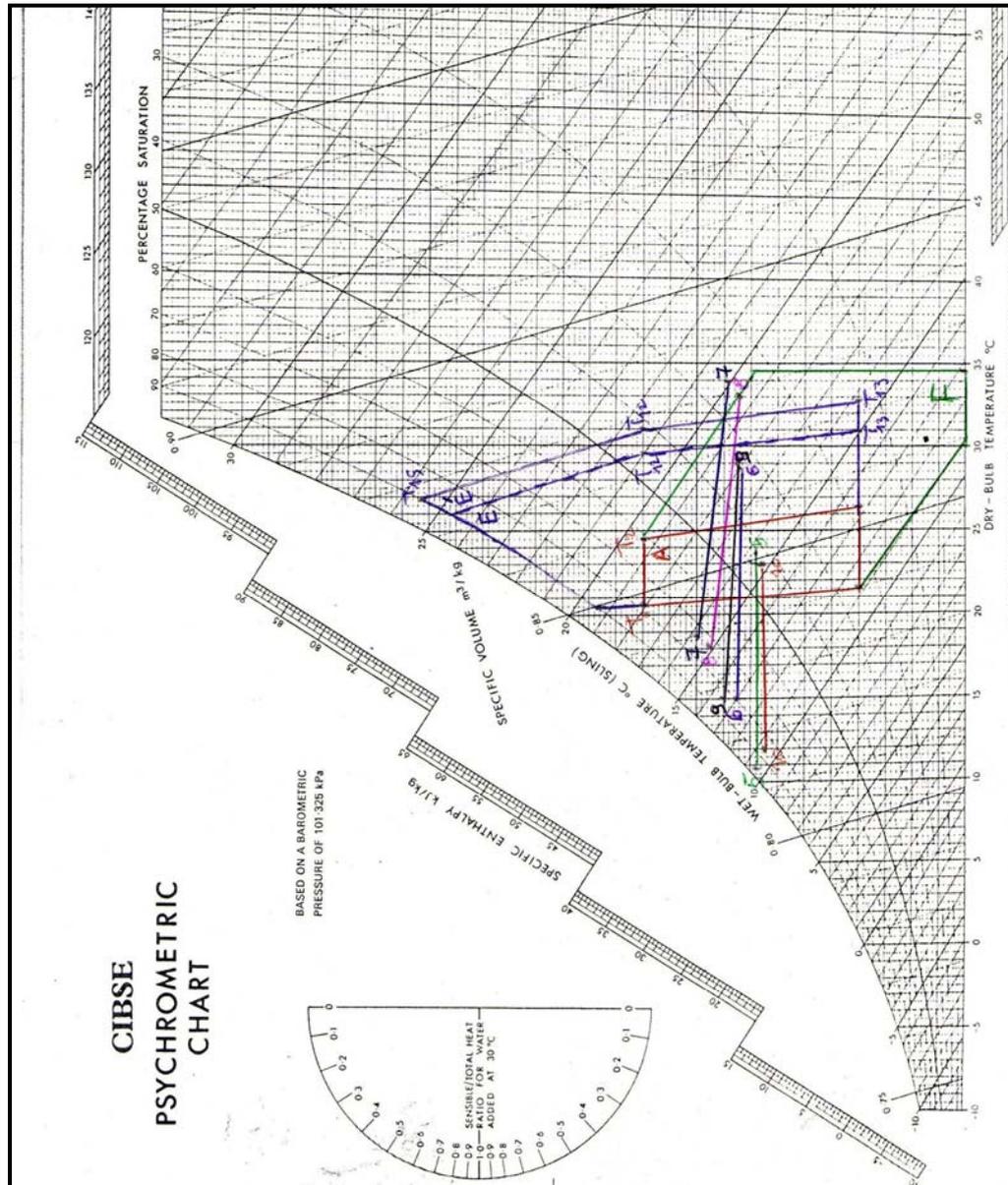


- A : zone de confort
- B : zone de chauffage solaire passif
- C : zone d'effet de masse
- D : zone d'effet de masse avec ventilation

Figure II-43 : diagramme bioclimatique de Tamanrasset

Source : auteur 2010

Enfin la période chaude qui s'étale du mois de Juin, jusqu'à Septembre, est centrée sur la zone de confort et déborde vers la droite, où elle touche les zones d'effet de masse, d'effet de masse avec ventilation nocturne, ventilation naturelle et refroidissement évaporatif direct. Pour cette période le confort peut être assuré par l'utilisation des moyens techniques et conceptuels (partie 1, §IV-1) tels que : bonne inertie thermique, ventilation transversale, meilleure orientation, bonne isolation, fermetures perméables.



- A : zone de confort
- E : zone de ventilation naturelle (v=1m/s)
- E' : zone de ventilation naturelle (v=1,5m/s)
- F : zone refroidissement évaporatif direct

Figure II-44 : diagramme bioclimatique de Tamanrasset
Source : auteur 2010

II- 3-4 Tableaux de Mahoney :

Parmi les anciens moyens d'aide à la conception bioclimatique, la méthode de Carl MAHONEY, qui présente l'avantage d'intégrer certaines variables sociales et fonctionnelles à l'instar des données climatiques. Il a mis au point un ensemble de tables, d'emploi facile, destinées à récapituler et à analyser les renseignements d'ordre climatique. Le projecteur qui s'en sert est conduit directement, de l'information climatique, aux types de spécifications qui devraient être prises en considération dès le stade de l'esquisse, à savoir : l'orientation, la forme générale, la structure des bâtiments à construire etc.

Les recommandations obtenues suite à l'application des tableaux de MAHONEY sur la ville de Tamanrasset (annexes 2) et qui peuvent être utilisées pour remédier aux sollicitations du climat, sont similaires à celles retenues par le diagramme bioclimatique de Szockolay. Ce sont donc des moyens d'interventions par des dispositifs architecturaux ou techniques, et qui se résument comme suit :

- Pour diminuer l'exposition au soleil, on prévoit :
- Plan masse compact.
- Orientation des bâtiments Nord-Sud (axe longitudinal Est-Ouest).
- Bâtiment à double orientation permettant une circulation d'air intermittente.
- Ouvertures moyennes 20 à 40%.
- Murs extérieurs et intérieurs massifs à forte inertie thermique.
- Toiture lourde qui permet un déphasage supérieur à 8 heures.
- Nécessité d'un espace pour sommeil en plein air.

Conclusion :

De l'analyse bioclimatique du climat de Tamanrasset élaborée selon la méthode de Szockolay, et les tableaux de Mahoney, il ressort que l'intensité du rayonnement constitue un facteur important à éviter, mais il n'en demeure pas moins que le besoin de chauffage solaire passif en hiver est souhaitable, cela peut être atteint en appliquant les techniques conceptuelles qui, peuvent à la fois capter et conserver la chaleur à l'intérieur, pendant la saison froide.

Pendant la période chaude, qui est plus rude et plus longue, les besoins en refroidissement passif et la protection contre l'intensité des radiations solaires, sont les facteurs essentiels pour rétablir les conditions de confort à l'intérieur des constructions.

De ce fait, des techniques de conception et de construction les plus appropriées doivent être appliquées, telles que, la compacité du plan de masse, l'orientation nord-sud, la ventilation, la dimension des ouvertures et surtout la stratégie du choix de matériaux à fortes résistance thermique, pour diminuer les transferts de chaleur. Le confort, par conséquent ne dépendra plus ou peu des dispositifs mécaniques.

Malheureusement, l'implantation de systèmes constructifs inadaptés, dont les critères d'intégration du cadre bâti au climat sont complètement délaissés, oblige les habitants à faire recours aux moyens mécaniques, consommateurs d'énergie non renouvelable, pour assurer le minimum de confort thermique à l'intérieur leur logement. Ce problème fera l'objet du troisième chapitre.

Chapitre III : L'ÉNERGIE ET SON RÔLE VITAL

Introduction

L'énergie se manifeste sous des formes diverses dans la vie des hommes. Elle affecte dans une large mesure l'organisation des collectivités humaines. L'énergie est capable de produire soit du travail, soit de la chaleur, soit les deux. Le travail et la chaleur sont fondamentaux pour notre vie, voire notre survie, ce qui nécessite une production d'objets, de nourriture etc., et un confort en particulier thermique. Ce qui veut dire que l'énergie tient une telle place dans nos préoccupations actuelles, et qu'aucune société ne peut s'en passer.

L'augmentation illimitée de l'offre d'énergie par rapport à la demande, et les faibles coûts ont entraîné des gaspillages énormes, et une augmentation de la consommation très importante dans le domaine industriel et que dans le domaine domestique, elle est aux alentours de 30 à 40% de la consommation totale. (Liébard A. et al, 2005)

L'Algérie, a connu ces dernières années une augmentation de la consommation énergétique. On note entre 2001 et 2011, la consommation en hiver est passée de 4534 à 7764 PMA, en été l'augmentation est plus importante, varie entre 3977 et 8746 PMA (Puissance maximale appelée). (UDES* 2012)

Le secteur résidentiel marque le plus grand pourcentage, sa valeur est de 17,7Mtep en 2005, en 2011, elle est estimée à 20Mtep (APPRUE** 2005), à cause d'une part de l'amélioration du niveau de vie des individus, des caractéristiques de l'habitat et de l'aménagement urbain contemporain, qui ne semblent pas considérer la dimension climat dans la conception.

Bien que nous ne prétendions pas traiter dans cette partie le cas de l'Algérie, nous allons dans ce chapitre, évoquer le problème de la consommation d'énergie à Tamanrasset.

Du moment que l'électricité est utilisée à plusieurs fins qui sont : les tâches ménagères, la détente et le confort, il est difficile de séparer la part de la consommation utilisée pour le chauffage et la climatisation de la consommation totale. Cette analyse comprendra l'ensemble du

* UDES : unité de développement des équipements solaires.

** APPRUE : agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie.

coût et la quantité de la consommation. Elle envisage une comparaison de la consommation entre les différents secteurs, les logements, les administrations et le secteur de l'industrie et une autre comparaison entre deux logements.

III-1 Facteurs influençant: la consommation énergétique :

Plusieurs facteurs interviennent directement dans la détermination du degré d'utilisation d'énergie, tels que l'aménagement urbain, les caractéristiques de l'habitat, et les facteurs socio-économiques.

III-1-1 Caractéristiques socio-économiques:

La satisfaction des besoins sociaux constitue un des objectifs de toute politique énergétique. Les besoins des algériens sont en net accroissement. Cette évolution traduit l'essor socio-économique qu'a connu le pays durant ces dernières décennies. En effet le niveau de vie de l'individu Algérien a connu une nette amélioration, à l'aide d'un revenu, qui lui permet, l'acquisition d'équipements domestiques nécessaires et une habitation confortable. Donc la consommation de l'énergie dépend non seulement de l'inconfort perçu dans le logement et des besoins en confort, mais principalement dans la capacité de l'habitant à dépenser et à utiliser des appareils consommateurs d'énergie.

Concernant le niveau de consommation final par habitants il est de 0.71 TEP en 2000, son évolution passera à 1.88 TEP en 2020. (Benazouz y, 1996)

III-2-2 Caractéristiques de l'habitat et aménagement urbain:

Le système urbain représente une part importante de la consommation énergétique de la nation. L'aménagement urbain, agissant sur le bâtiment lui-même, son environnement immédiat, la densité des groupements et la localisation des fonctions est théoriquement en mesure de jouer un rôle dans la détermination des consommations énergétiques urbaines. (Salre.C, 1986) Dans ce système urbain, l'habitat par sa forme, ainsi que les caractéristiques thermiques de la construction, entraîne les consommations les plus importantes et joue un rôle essentiel du fait de sa grande inertie temporelle, le chauffage et la climatisation ont dans ce cadre, le poste de consommation d'énergie prépondérant.

Cela se confirme par les valeurs de la consommation finale (figure II-45) d'où on note la dominance du secteur résidentiel et tertiaire avec 42%, suivi par le secteur de transport 33%, industriel 17%, agriculture 5% BTP 2% et enfin le secteur de l'hydraulique avec 1%. (CDER 2012)

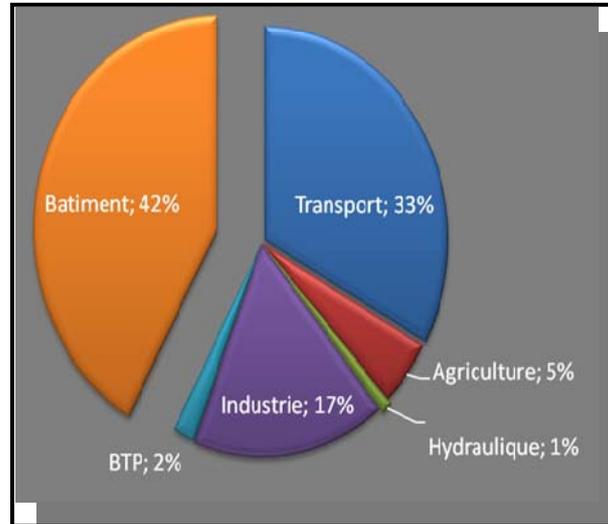


Figure II-45 : consommation énergétique des différents secteurs
Source: CDER 2012

Le développement économique et social de notre pays, conjugué à un accroissement démographique très important a engendré une urbanisation accélérée, celle-ci a bouleversé la structure traditionnelle initiale et a rendu difficile toute maîtrise des villes.

L'étude de la morphologie de l'habitat au niveau de l'espace de Tamanrasset a montré un tissu urbain assez composite. On y trouve en effet une juxtaposition de différents types d'habitat, son état détermine un certain nombre de caractéristiques ayant trait à l'utilisation de l'énergie.

III-2 Evolution de la consommation énergétique à Tamanrasset :

Toute étude sur l'énergie doit nécessairement mettre en évidence la consommation qui reste un indicateur fiable, et qui est l'un des critères les plus fréquemment avancés pour juger du niveau de développement.

La ville de Tamanrasset compte parmi les villes du sud algérien qui ne sont pas alimentées par le gaz de ville. Donc, les données que nous avons obtenues auprès des services de la SONELGAZ de Tamanrasset concernent uniquement l'énergie électrique.

L'analyse de la consommation se base sur l'étude de la quantité d'énergie électrique consommée en (kw.h) et le prix coûtant en dinar Algérien (DA).

Comme l'électricité est la principale source énergétique utilisée dans tous les secteurs, nous avons donc procédé à une analyse comparative de la consommation dans les logements, les administrations et les grands consommateurs (industries), pendant une période qui s'étale entre 2006 à 2009.

Suite à la lecture de la consommation représentée dans la figure II-46, la première constatation, confirme l'augmentation de la consommation celle-ci est nettement remarquable dans les trois secteurs. Le secteur résidentiel enregistre la plus grande quantité consommée (86220000Kwh, suivi du secteur grands consommateurs (industrie) (43505000Kwh) et enfin le secteur de l'administration (18530000 Kwh).

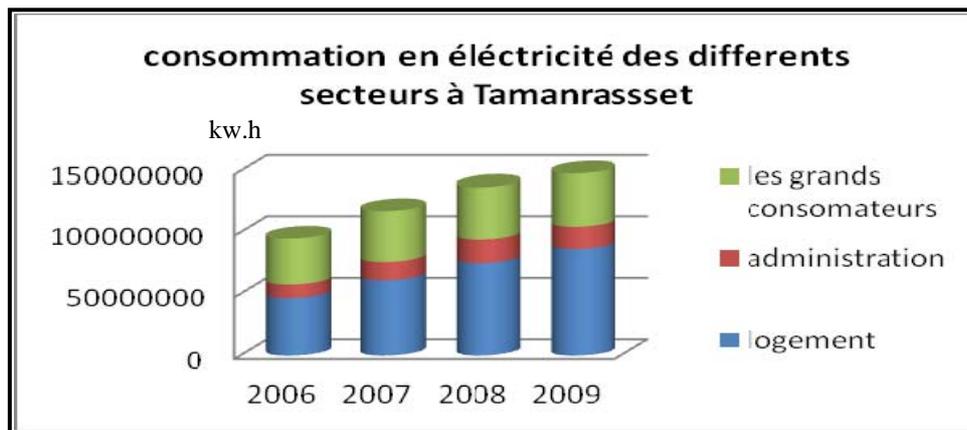


Figure II-46 : Comparaison de la consommation d'électricité des différents secteurs (kwh)

Source : SONELGAZ de Tamanrasset, 2010

Ce qu'on peut aussi remarquer sur la figure II-46 et ce qui est frappant, c'est le doublement de la quantité d'énergie consommée dans le secteur logement pendant une courte durée de quatre années. Ce qui se traduit par les coûts considérables de la consommation électrique exprimés en chiffre d'affaire (figure II-47).

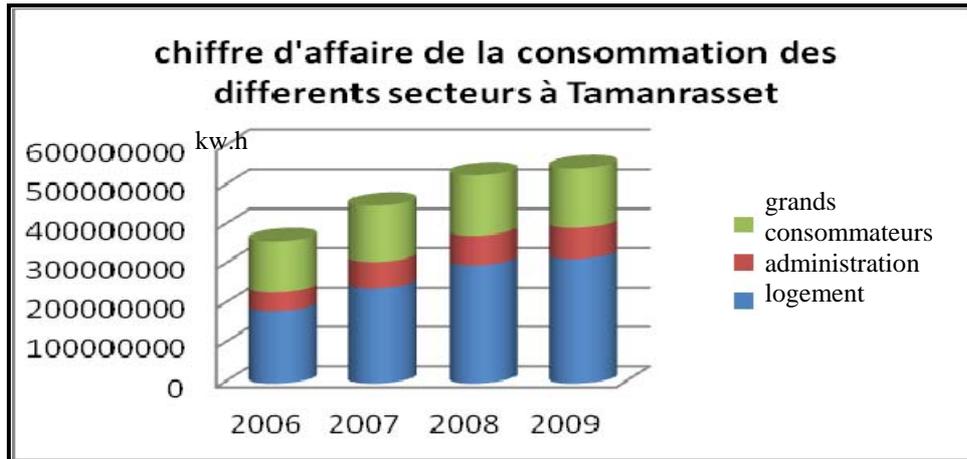


Figure II-47 : Prix coûtant de la consommation d'énergie des différents secteurs (dinar algérien)

Source : SONEGAS de Tamanrasset, 2010

III-2-1 Comparaison de la consommation d'énergie électrique :

La comparaison de la consommation de l'énergie électrique dans les deux tissus urbains traditionnels et contemporains, permet de mieux définir l'habitation qui consomme le moins ou le plus d'énergie, pour assurer son confort thermique. Pour se faire, nous avons procédé à l'analyse de la consommation dans le quartier ancien- Ksar EL Fougani- et une nouvelle cité – la cité du 5 juillet 1962- pendant la période 2008-2009.

La figure II-48 présente les résultats de la consommation dans le logement contemporain. Nous remarquons d'abord qu'il y a une augmentation entre 2008-2009. Sur la même figure, nous constatons que la consommation des trimestres un et deux est identique, pour ce qui est des trimestres trois et quatre la valeur augmente rapidement pour atteindre son maximum au quatrième trimestre.

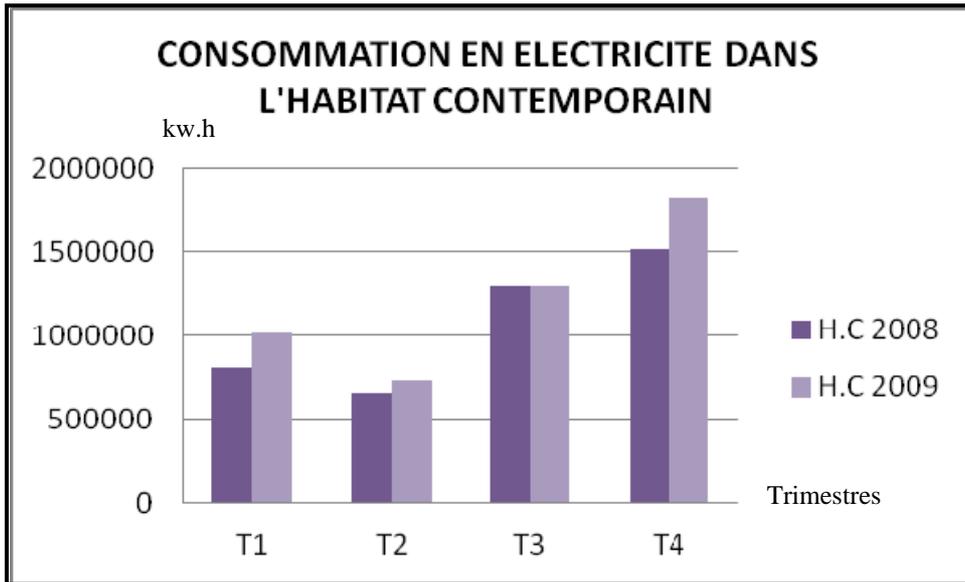


Figure II-48 : consommation de l'énergie électrique (kw.h) dans l'habitat contemporain (H.C).

Source : SONEGGAZ de Tamanrasset, 2010

La consommation en électricité des logements traditionnels présentée sur la figure II-49 montre que la consommation annuelle est partagée en 2, les valeurs des trimestres deux et trois sont presque identique enregistrant des minimas, et les trimestres un et quatre enregistrent aussi les même quantités mais avec des valeurs maximales.

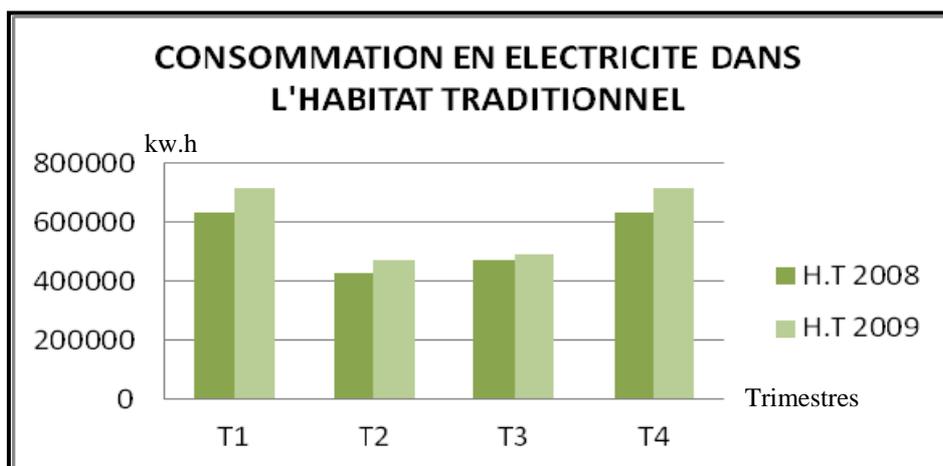


Figure II-49 : consommation de l'énergie électrique (kw.h) dans l'habitat traditionnel (H.T).

Source : SONEGGAZ de Tamanrasset, 2010

En comparant la consommation d'énergie dans les deux types de logements (traditionnel et contemporain) figure II-50, on remarque que l'augmentation de la consommation en électricité de l'habitat traditionnel (HT) est faible par rapport à celle de l'habitat contemporain (HC), les valeurs varient entre 690000Kwh pour HC et 452000Kwh pour HT, et que le trimestre deux, enregistre donc, les plus faibles quantités d'énergie consommée pour les deux types de construction. Par contre pour les trimestres trois et quatre, la différence est nettement remarquable entre les deux types de logement (549260Kwh), avec une augmentation considérable dans l'habitat contemporain qui atteint 1673882Kwh contre 670584Kwh.

Par conséquent, les valeurs du prix coûtant de la consommation sont plus élevées dans la construction contemporaine que dans la construction traditionnelle (figure II-51)

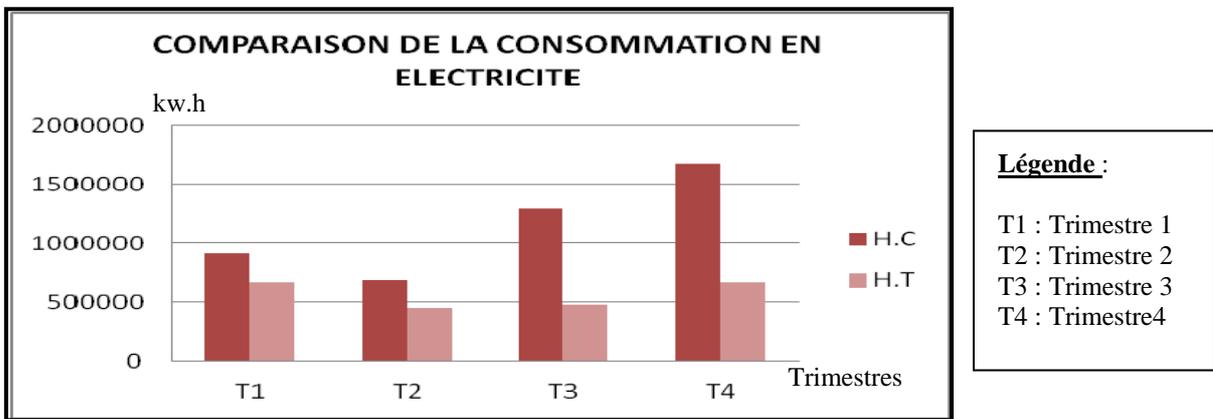


Figure II-50 : comparaison de la consommation de l'énergie électrique dans les deux types d'habitat.
 Source : SONELGAZ de Tamanrasset, 2010

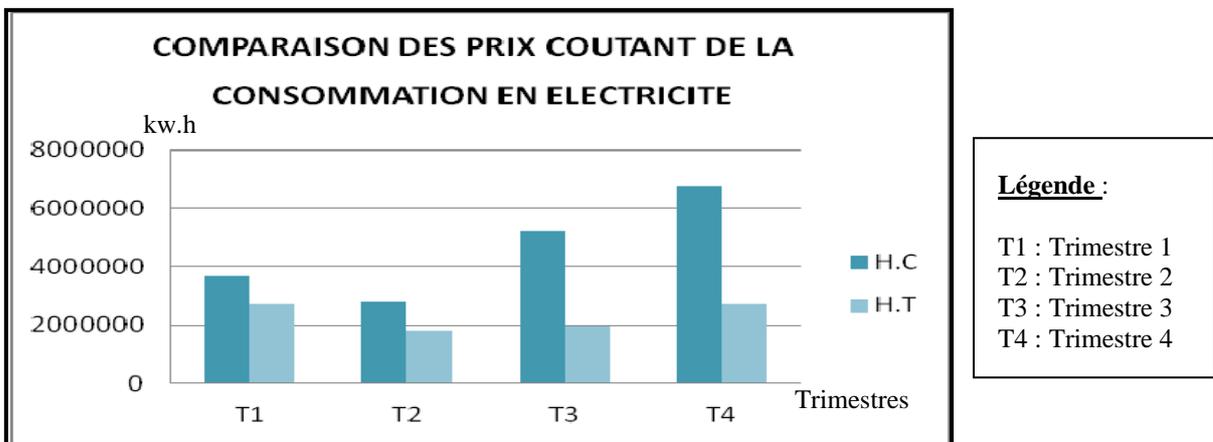


Figure II-51 : comparaison des prix coûtant de la consommation de l'énergie électrique dans les deux types d'habitat.
 Source : SONELGAZ de Tamanrasset, 2010

Ainsi, la différence de la consommation d'électricité entre les deux types d'habitat, pendant les mêmes périodes, est due, à l'effet conjugué de plusieurs facteurs. Le premier étant la dimension climatique, qui est ignorée dans la construction contemporaine, car l'influence du facteur climat est importante, surtout pendant la période chaude qui est longue et rude, les autres facteurs sont liés aux types d'habitat qui sont différents d'un type à l'autre, du point de vue (volume, forme, orientation, dimension des baies et leurs protections, tissu urbain ainsi que les caractéristiques thermiques des matériaux de construction etc.), et enfin les facteurs sociaux économiques des habitants qui sont fonction de leurs revenus.

III-3 Economie de l'énergie dans le bâtiment :

Le besoin d'énergie de chauffage ou de climatisation dans un logement résulte du maintien d'une certaine température à l'intérieur de celui-ci. La quantité d'énergie utilisée dépend des caractéristiques physiques du logement et du contexte climatique dans lequel il se trouve. Cette approche renvoie à deux facteurs explicatifs:

- Le besoin en température : chaque niveau de température nécessite en effet une quantité d'énergie bien déterminée.
- Les caractéristiques du logement : elles interviennent de façon prépondérante dans la création de besoin d'énergie; il s'agit essentiellement du volume de l'habitation de son degré d'isolation et aussi de son exposition au soleil, au vent, etc.

D'une façon générale, quelque soit l'utilisateur ou le consommateur d'énergie considéré, il existe d'autres moyens pour économiser l'énergie :

- a- La réduction des besoins énergétiques, qui se subdivise elle-même en deux catégories :
 - * La réduction de la demande.
 - * La réduction des déperditions.
- b- L'amélioration des performances thermiques des constructions.
- c- Le recours à l'utilisation des énergies renouvelables.

III-4 Problématique de l'énergie en Algérie :

On s'accorde à dire que l'économie d'énergie fait partie du fondement de la politique énergétique nationale, et ce depuis 1981 à travers, l'adoption et la mise en œuvre du modèle de consommation "énergétique nationale". Ainsi, dans le cadre de la mise en œuvre des économies d'énergie, un certain nombre d'actions ont été mises en place à différents niveaux de la chaîne énergétique : production, transformation et usage final. (Yacef P. 1997) Or, la logique d'économie d'énergie n'a pas été poussée à son terme : les secteurs industriel (cimenterie, complexe, etc.), et résidentiel n'ont pas été touchés ou très peu.

Conclusion

Devant les besoins sans cesse croissants de la population algérienne pour les années à venir, et si l'on admet qu'il n'existe aucune chance de survie sans énergie, et que selon la règle "gérer c'est prévoir", la sagesse commande de rechercher comment économiser ces énergies, et développer d'autres sources d'énergie. Aucun pays conscient de son avenir et de son développement ne peut se permettre des négligences dans ce domaine. Il faut dès à présent mettre en place, une stratégie permettant d'initier des programmes d'action dans le domaine de la maîtrise de l'énergie, orientée vers tous les utilisateurs. La sensibilisation, l'information, la mise en place d'une réglementation efficace et incitative doivent être les outils, pour assurer un développement durable en harmonie avec l'environnement. L'intervention volontariste de l'état reste prédominante pour la réussite d'une telle stratégie.

Conclusion de la partie 2:

Nous avons dans ce qui a précédé essayer de faire l'historique de manière détaillée du développement de la ville de Tamanrasset, en analysant le type de climat qui la caractérise et de voir son impact sur les constructions contemporaines et traditionnelles pour enfin arriver à évoquer la consommation énergétique et les causes de son augmentation.

Située au cœur de l'Ahaggar, dans la région naturelle Ouan-Halledjen, la ville de Tamanrasset jouit d'une position géographique privilégiée. Carrefour des échanges et plaque tournante du commerce caravanier dans le passé, favorisée par des conditions historiques, Tamanrasset est devenue la capitale économique, culturelle et politique de l'Ahaggar et la porte de l'Afrique, surtout après les différents événements historiques qu'a connus la région de Tamanrasset.

Par conséquent, cet établissement humain Saharien a subi des mutations profondes qui ont marqué son cadre bâti.

Actuellement, le paysage architectural de cette ville est caractérisé par une architecture traditionnelle, résultat du mouvement migratoire des villes Saharienne vers la région du Hoggar. Une autre de la période coloniale, a favorisé la perte d'utilisation du savoir faire ancestral, en introduisant de nouveaux outils d'urbanisme et de construction. La troisième, étant l'architecture contemporaine, qui est dominante à cause de la forte demande en logement dû à la sédentarisation des nomades et des flux migratoires des villes du nord.

Après l'indépendance, Tamanrasset a connu une croissance de son cadre bâti sans aucune orientation ni réglementation. On applique les concepts de l'urbanisme et l'architecture moderne en faisant abstraction aux données socioculturelles, et en ignorant le patrimoine architectural des milieux arides, ainsi qu'en témoigne l'état problématique dans lequel se trouve la ville saharienne aujourd'hui : éclatement du tissu urbain, avec ses larges voies conçues pour la circulation automobile, et qui son exposées au soleil au détriment des zones d'ombre et des espaces protégés, favorisant ainsi, l'absorption de la chaleur diurne pour enfin, la restituer le soir après le coucher du soleil, ce qui augmente la température extérieure nocturne.

Le logement traditionnel est remplacé par une maison moderne, extraverti très répondeur dans le pays, employant des matériaux de construction de forte conductivité thermique (parpaing, acier et ciment). Ce nouvel habitat réalise l'accès au confort suivant les normes actuelles (espaces, propreté, adduction aux différents réseaux), mais le confort thermique est loin d'être atteint.

Nous avons vu que la forme urbaine et la construction traditionnelle à Tamanrasset répondent à une logique qui s'adapte au climat. Sa structure est généralement dense, le cadre bâti dans sa spatialité introvertie et sa conception compacte, alliées à l'orientation et l'accélération des vents, qui jouent, ensemble, un rôle dans l'amélioration du microclimat et favorisent l'émergence de zone d'ombre, en générant une ventilation naturelle, donc une dissipation de la chaleur.

L'emploi de matériaux traditionnels à forte inertie permet un déphasage thermique plus long, et par conséquent une meilleure fluctuation de la température diurne. L'étude climatique qui a fait l'objet du deuxième chapitre fait apparaître la rigueur des conditions climatiques à Tamanrasset surtout pendant la période chaude, avec des températures moyennes très élevées, un rayonnement solaire intense, des vents chauds et des précipitations très rares, c'est un climat chaud et aride. Ces caractéristiques climatiques se manifestent en tant que source d'inconfort pour les habitants de la région.

Les diverses stratégies de conception passives qui devraient être prise en considération ont été établies, suite à l'analyse bioclimatique, selon la méthode de Szokolay et les tables de Mahoney, dans ce cas, un chauffage solaire passif est nécessaire pendant une courte durée, s'obtient grâce à la pénétration du soleil par les fenêtres. Pour la période chaude, plusieurs stratégies de protection doivent être adoptées, tels que, l'effet de masse thermique, la ventilation, le refroidissement évaporatif, la taille et la protection des ouvertures.

Par conséquent, le confort thermique sera atteint à l'intérieur des logements sans le recours aux appareils qui consomment de l'énergie, car à la lumière des résultats obtenus suite au développement du dernier chapitre de cette partie, l'analyse de la consommation électrique à Tamanrasset est en nette augmentation et, que l'habitat traditionnel consomme moins d'énergie

que l'habitat contemporain, en effet, ce dernier a montré ses insuffisances sur le plan intégration au climat.

Donc, le besoin de construire en masse ne consiste pas à ignorer toute une conception de l'habitat, après avoir vécu une période de haute civilisation dans les siècles passés, mais de l'étudier et de l'adapter au climat, et au mode de vie des futurs habitants.

De ce fait, le retour aux concepts anciens et le recours à l'utilisation des systèmes passifs dans le domaine du bâtiment et de construction, ainsi que l'utilisation des énergies renouvelables, contribueront forcément à la réduction de ce phénomène et diminueront par conséquent l'utilisation abusive de l'énergie fossile, pour arriver à satisfaire nos besoins en matière de confort thermique. Ce besoin essentiel pour la santé et le bien être de l'individu.

Sous notre climat, les énergies naturelles qui chauffent, refroidissent et humidifient les constructions sont disponibles tout au long de l'année. L'astuce consiste à faire appel à ces énergies aux moments où elles participent au confort. Et puisque le temps ne s'adapte pas exactement à nos besoins, ce sont nos constructions qui doivent faire cet effort d'adaptation. Il faut donc étudier les édifices pour qu'ils acceptent ou qu'ils rejettent, et pour qu'ils stockent, ou qu'ils relâchent les énergies naturelles aux moments appropriés.

L'objet de la partie suivante, sera l'étude du cas, qui comprend une investigation. On va essayer de mettre en évidence le degré d'influence des matériaux de construction sur la température intérieure, prendre des mesures de température et humidité relative à l'intérieur des deux types de constructions, et enfin une analyse thermique par simulation.

Partie 3

INVESTIGATIONS

Introduction

Dans le cadre précis de notre recherche, nous essayerons de montrer les avantages et inconvénients vis-à-vis de l'adaptation aux conditions climatiques locales de ces deux aspects à priori contradictoires de la production de l'espace :

- * Le traditionnel qui représente notre patrimoine architectural.
- * Le contemporain qui est inspiré du modèle conçu pour d'autres réalités et d'autres populations, et qui n'a aucun rapport avec le type d'habitat qui existe déjà.

Cette troisième partie de l'étude se veut une vérification de l'hypothèse à travers l'étude de cas. Elle s'intéresse aux cadres méthodologiques et analytiques de la recherche.

Cette partie est donc consacrée à l'analyse et à l'interprétation des résultats obtenus grâce à la méthode expérimentale. Elle présente d'abord une description détaillée de la technique d'expérimentation, avec l'explication de la démarche, les instruments d'analyse, ses étapes, ainsi que les étapes à suivre pour traiter et interpréter les résultats. Ce qui permet de confirmer ou infirmer notre hypothèse de recherche.

Parmi les différentes méthodes et approches utilisées dans le domaine de l'architecture bioclimatique, figure l'approche comparative.

Donc, Le but de notre analyse comparative s'oriente principalement, vers une connaissance du degré d'intégration au climat de nos modèles architecturaux. A ce propos, nous abordons cette partie selon une méthode de travail qui permet de mettre en évidence les caractéristiques physiques du cadre bâti, ainsi que son évaluation du point de vue performance thermique.

Pour atteindre notre objectif et pour arriver à de bons résultats, cette phase d'investigation comporte trois outils de recherches, qui sont :

- * La première se base sur une analyse des caractéristiques thermo physiques des matériaux de construction des deux types d'habitat étudié, à savoir l'habitat traditionnel et l'habitat contemporain. Ce qui fournira des données indispensables, pour le choix de tels ou tels matériaux de construction, pour permettre une réduction des fluctuations de la température intérieure.
- * Le deuxième outil, c'est la technique des mesures qui consiste, en une acquisition de données, sur la température et l'humidité relative à l'intérieur des deux types de logements étudiés, à

l'aide des campagnes de mesures "in situ". L'objectif visé, est d'une part d'analyser et comparer leur performance thermique, et d'autre part, déduire les potentialités thermiques des différents paramètres architecturaux, et de déterminer leur degré d'influence sur le confort thermique.

Enfin, la méthode de simulation: permet d'interpréter les phénomènes thermiques qui se déroulent instantanément à travers l'enveloppe, et pendant lesquels surviennent des événements thermiques à évolution rapide (régime variable). Elle nous aide donc, à analyser les différents flux, qui traversent la paroi et influence sur l'ambiance intérieure.

Elle permet aussi de retenir des critères d'évaluation potentiels, qui peuvent être des possibilités d'amélioration du confort thermique de la construction contemporaine.

Comme pour tout processus analytique, cette troisième partie du travail est une synthèse de notre analyse, elle constitue l'étape finale de notre objet principal de recherche, qui est la définition d'un habitat qui consomme moins d'énergie pour assurer son confort thermique, donc pour une intégration de l'habitat au climat de Tamanrasset.

Chapitre I: ANALYSE DES PROPRIETES THERMO PHYSIQUES

DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

"la conductivité et la diffusivité thermique"

Introduction

L'ambiance intérieure d'un local est séparée de l'environnement extérieur par le système de construction que l'on peut considérer comme une enveloppe, dont l'une des fonctions essentielles est de créer un climat intérieur confortable.

Cette enveloppe est soumise à des sollicitations thermiques externes et internes, et l'ambiance intérieure du local résulte de la réponse de l'enveloppe à ces sollicitations. Cette réponse varie en fonction des caractéristiques géométriques, physiques et thermiques du système de construction.

Ainsi le type de matériaux employés pour la construction des murs et de la toiture peut modifier la température intérieure. Avec un choix judicieux de ces matériaux, il est possible d'atteindre un confort appréciable même si les conditions extérieures sont défavorables.

Pour se faire, une connaissance préalable des propriétés, des matériaux et du comportement des éléments de construction en regard du transfert de chaleur s'avère nécessaire.

La mesure des caractéristiques thermo physiques des matériaux de construction présente une très grande importance, afin de déterminer leurs comportements vis à vis des phénomènes de transfert de chaleur. Deux propriétés ont été testées: la conductivité thermique et la diffusivité thermique.

I-1- La conductivité thermique (λ)

La conductivité thermique (λ) : est la quantité de chaleur qui passe en une seconde au travers de 1m^2 d'une couche de matériaux homogènes de 1 mètre d'épaisseur, soumis à une différence de température de 1 degré. (Roulet C, 2004)

Les facteurs influençant la conductivité thermique d'un matériau sont :

- Son poids volumique.
- Sa teneur en eau.
- La taille de ses pores d'air.
- La nature du solide les renfermant, (Liébard A, 2005)

Les valeurs λ sont faibles pour les matériaux isolants et importantes pour les matériaux conducteurs.

$$\lambda = Q \cdot d / (T_1 - T_2) \dots\dots\dots 1$$

où Q : flux de chaleur (W/ m²).

$$Q = -\lambda \Delta T / dx \dots\dots\dots 2$$

d : épaisseur (m)

T1 : température de la face avant (°C) 2

T2 : température de la face arrière (°C)

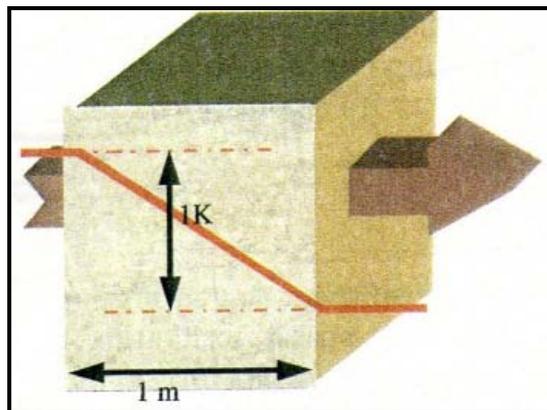


Figure III-1: schéma de principe de la conductivité thermique

Source: Roulet C.A. 2006

I-2 La diffusivité thermique (a) :

Correspond à la vitesse d’avancement d’un front de chaleur à travers les matériaux (unité: m²/s) La diffusivité thermique exprime la capacité d’un matériau à transmettre une variation de température. Elle est directement proportionnelle à sa conductivité thermique et inversement proportionnelle à sa chaleur volumique. (Deherde A, 2005)

$$a = \lambda / \rho \cdot c \dots\dots\dots 3$$

Où λ : conductivité thermique du matériau (W/m.k)

ρ : masse volumique du matériau

c : chaleur massique du matériau

I-3 Etude expérimentale :

La détermination de ces caractéristiques exige l'utilisation de plusieurs appareillages et plusieurs méthodes. Pour ce faire, un montage expérimental a été utilisé dans le but de déterminer la conductivité et la diffusivité thermique des différents matériaux employés dans les différents types de construction à Tamanrasset. Les échantillons représentatifs qui ont servi de support à l'analyse des propriétés thermo physique ont été pris des constructions anciennes c'est à dire des matériaux locaux (la terre et la pierre pour les murs, le Tehli et la terre pour les toitures) et le parpaing pour les matériaux contemporains (figure III-2).



Figure III-2 : échantillons testés

Source: auteur 2009

I-3-1 Principe de la mesure: (méthode flash):

Les échantillons des différents matériaux à l'état sec sont taillés à des formes parallélépipédiques, avec une des dimensions (hauteur) très faible par rapport aux autres dimensions. (Figure III-2)

Comme il est montré sur la figure 3, les mesures de la diffusivité thermique (a) sont obtenues grâce à l'application d'un flux de chaleur de 40W, émis par une résistance électrique (effet Joule). Le rayonnement thermique est appliqué sur la face avant (T_1), tandis que la température de la face arrière (T_2) est maintenue constante par refroidissement à l'aide d'un régulateur de température.

A cause de la faible épaisseur d'une part, et l'isolation des côtés de l'échantillon, nous avons considéré que la propagation de la chaleur est unidimensionnelle s'effectuant, de la face avant vers la face arrière, selon l'épaisseur (d) seulement.

Les mesures des évolutions en fonction du temps des températures T_1 , T_2 de chaque échantillon sont obtenues par des thermocouples de surface de type Ni.Cr/Ni, qui sont en contact avec les deux faces (figure III-3).

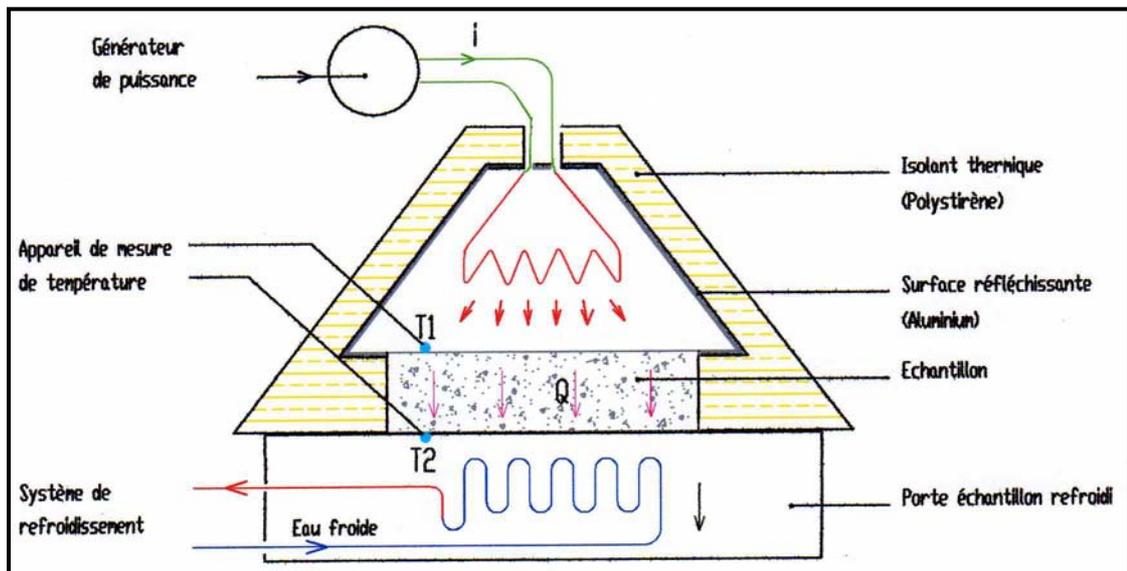


Figure III-3 : Photo et schéma de principe du montage expérimental de mesure

Source : auteur 2009

Les résultats des mesures sont représentés sur les figures (III-4, III-5, III-6 et III-7), sous forme de thermo gramme, à partir de ces courbes dans la zone stationnaire ($\Delta T = \text{constante}$). On a pu déduire la conductivité thermique et par l'application de l'équation de Fourier (équation N°1)

- la valeur de la diffusivité thermique (a) est estimée à partir de la méthode de Parker.

$$a = 0,139d^2 / T^{1/2} \dots\dots\dots 3$$

Où d : épaisseur (m)

t : temps (s)

I-3-2 Résultats de calcul de (λ) et (a) des différents matériaux :

- toiture: terre + TEHLI
 $\lambda = 1 \text{ w/m}^\circ\text{C}$ et $a = 1,23 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
- Mur: terre + crépissage (en argile)
 $\lambda = 1,3 \text{ w/m}^\circ\text{C}$ et $a = 1,26 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
- Mur: pierre naturelle
 $\lambda = 2 \text{ w/m}^\circ\text{C}$ et $a = 1,30 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
- Mur: parpaing
 $\lambda = 1,3 \text{ w/m}^\circ\text{C}$ et $a = 1,39 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$

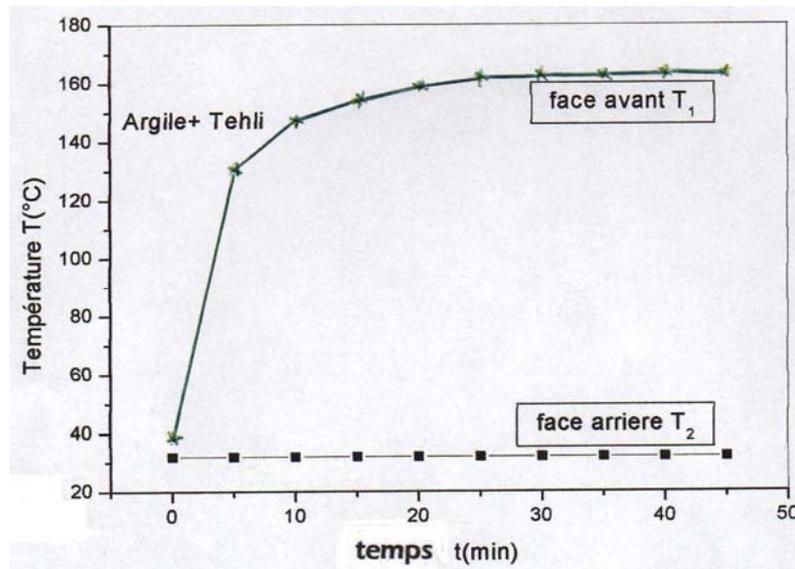


Figure III-4 : Variation des températures T_1 et T_2 de l'échantillon cas de terre et Tehli

Source : auteur, 2009

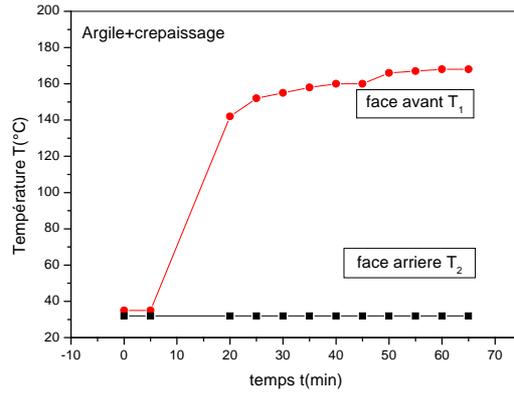


Figure III-5 : Variation des températures T_1 et T_2 de l'échantillon cas de brique de terre et crépissage
Source : auteur, 2009

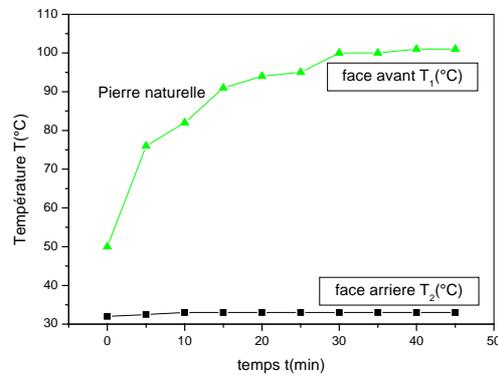


Figure III-6 : Variation des températures T_1 et T_2 de l'échantillon cas de la pierre naturelle
Source : auteur, 2009

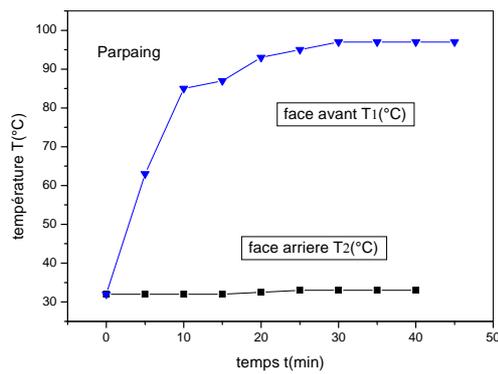


Figure III-7 : Variation des températures T_1 et T_2 de l'échantillon cas de parpaing
Source : auteur, 2009

Tableau I-1 : tableau récapitulatif des résultats de l'expérience

Source : Auteur 2009.

Matériaux	(λ) w/m°C	(a) m ² /s
Terre + Tehli	1w/m°C	1,23x10 ⁻⁷
Brique de terre (Toub) + crépissage	1,3w/m°C	1,26x10 ⁻⁷
Pierre naturelle	2w/m°C	1,3x10 ⁻⁷
Parpaing	1,3w/m°C	1,39x10 ⁻⁷

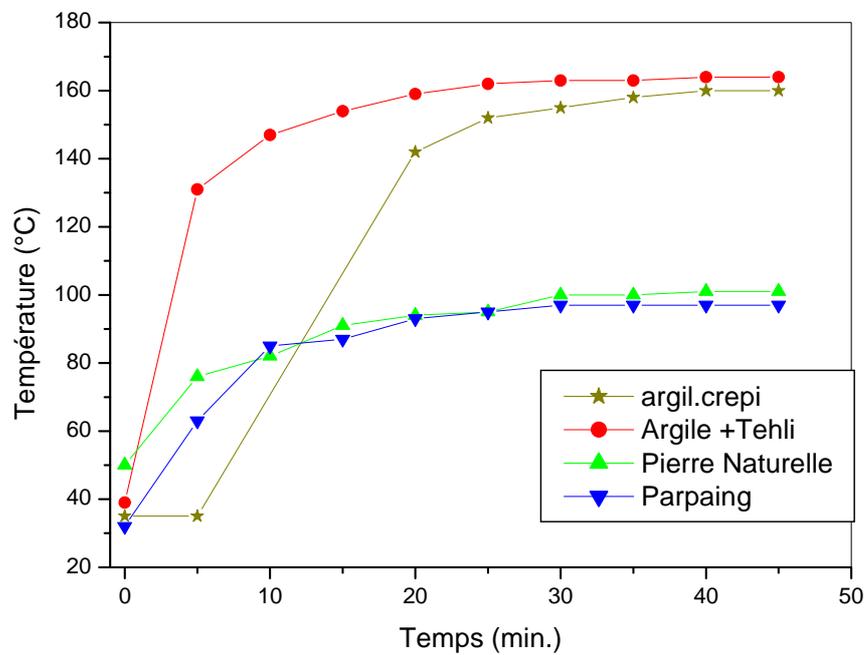


Figure III-8: comparaison entre les variations de la température T1 (face avant) et T2 (face arrière) pour les différents matériaux testés.

Source: auteur, 2009

I-4 Interprétation des résultats:

Sur la base des résultats obtenus de la conductivité thermique et de la diffusivité thermique des différents échantillons, on a pu établir notre comparaison. On remarque sur la figure III-8 que les valeurs les plus faibles correspondent aux matériaux employés dans la construction traditionnelle (matériaux locaux), en premier c'est le Tehli et la terre qui composent la toiture avec :

$\lambda = 1 \text{ w/m}^\circ\text{C}$ et $a = 1,23 \times 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{s}$, en seconde position se place la brique de terre et le crépissage, matériaux employés dans les murs avec : $\lambda = 1,3 \text{ w/m}^\circ\text{C}$ et $a = 1,26 \times 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{s}$, en troisième position la pierre naturelle avec : $\lambda = 2 \text{ w/m}^\circ\text{C}$ et $a = 1,30 \times 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{s}$, et enfin la valeur la plus élevée correspond à celle du parpaing qui représente le matériau de base servant à la construction contemporaine, dont les valeurs sont comme suit : $\lambda = 1,3 \text{ w/m}^\circ\text{C}$ et $a = 1,39 \times 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{s}$.

Ces résultats rejoignent l'avis de plusieurs chercheurs tels que Givoni et Lavigne, qui ont montré que, la diminution de la variation de la température intérieure peut être obtenue en choisissant un matériau d'enveloppe de faible diffusivité thermique et de faible conductivité thermique. (Givoni B, 1978) (Lavigne P, 1994)

Il y a aussi le résultat de SarenKalali, qui a montré qu'avec des enveloppes pratiquement homogènes, pour réduire les oscillations de la température intérieure (A_i) provoquées par une oscillation de température extérieure (A_e , il faut choisir un matériau d'enveloppe de faible diffusivité et de faible conductivité. La construction de terre répond assez bien à cette condition (Sarenkalali H, 2007).

Ce résultat se rapproche aussi à celui de Sayigh qui, suite à une étude effectuée en Egypte, a démontré la haute qualité thermique d'une paroi en brique de terre, car les fluctuations de la température de l'air dans l'enveloppe en brique de terre sont dans la zone de confort, alors que celle du béton sont en dehors des limites de confort. (Marafia A.H, 1998)

Conclusion

La température intérieure d'une ambiance est largement influencée par la nature constructive de son enveloppe, c'est-à-dire les matériaux qui la compose, leurs épaisseurs, leurs couleurs et leurs revêtements.

En été ou en climat chaud, cette température fluctue librement, donc, la résistance thermique des éléments de l'enveloppe doit être aussi élevée que possible, tout en restant économiquement réalisable.

L'analyse des matériaux de construction employés à Tamanrasset a montré que les matériaux traditionnels (locaux) se caractérisent par de faible diffusivité et conductivité thermique, ce qui constitue une réponse quant à la réduction des amplitudes des flux thermiques, qui sont à la base de sensation du confort thermique.

Par contre les caractéristiques thermo-physiques des matériaux de construction utilisés dans l'habitat contemporain sont moins efficaces, du fait que leur résistance thermique est réduite par rapport à ceux de la construction traditionnelle, ce qui prouve l'augmentation des amplitudes thermiques.

Chapitre II : ETUDE QUANTITATIVE DU COMPORTEMENT THERMIQUE DE CONSTRUCTION EN SITUATION REELLE

Introduction

L'analyse thermique de l'habitat en condition réelle, permet d'apprécier objectivement la situation de "confort thermique" dans l'ambiance intérieure, en regard des caractéristiques thermo physiques des éléments constitutifs de l'enveloppe et de leurs agencements, ainsi que la conception architecturale et urbaine.

Il est nécessaire en effet, de dépasser le niveau des considérations théoriques et de rendre compte, au moyen d'expérimentation in situ, d'un éventuel écart entre les effets escomptés et les effets réellement enregistrés. La situation thermique résultante, n'est que le reflet de la somme des conditions climatiques extérieurs instables, et des interactions simultanées qu'elles entretiennent avec les différentes parties de l'enveloppe. L'étude analytique, élément par élément, ne constitue qu'une approche fragmentée et partielle excluant toute combinatoire d'effets. Dans ce cas, nous suivons la méthode des mesures qui est l'un des moyens les plus répandu dans ce domaine, qui se caractérise par des mesures comparatives sur un même site de plusieurs édifices différents, placés dans des conditions climatiques identiques.

Les paramètres mesurés sont la température et l'humidité relative à l'intérieur de deux types de construction, car d'après la partie I, § II-5 sont des critères très importants dans la détermination du confort thermique.

II-1 Mesure de la température intérieure et de l'humidité relative :

II-1-1 Organisation de la campagne des mesures :

La préparation et la mise au point de la campagne de mesures a nécessité de régler un certain nombre de problèmes concernant :

- La recherche d'échantillon de logement dans la ville :

Le nombre restreint de constructions traditionnelles encore en bon état et n'ayant pas subi de transformations importantes, l'accord des propriétaires des maisons retenus n'a pas

toujours été obtenus (indisponibilité de l'habitation, une certaine méfiance), restreignant quelque peu le choix d'échantillons représentatifs.

- La constitution de l'équipement de mesure :

Dépôt d'une demande auprès de la station météorologique de Tamanrasset, test et mise en état des appareils (étalonnage), définition des paramètres mesurés en fonction des moyens mis à notre disposition.

- Le choix et la durée des périodes de mesures :

Nous avons prévu d'effectuer des séries de mesures durant les saisons climatiques extrêmes d'hiver et d'été représentées par les mois de Janvier et Juillet.

Les mois de Juillet et Janvier sont d'ailleurs, avérés très satisfaisants en raison de leurs caractéristiques climatiques particulières surtout celle du mois de Juillet, dont une insolation élevée 307 heures.

Quoi qu'il en soit, les résultats obtenus pour ces deux périodes de l'année, rendent compte de manière suffisamment explicite, du comportement annuel et saisonnier de l'habitation.

Le temps minimum de la campagne de mesure a été fixé à une semaine, temps nécessaire pour établir un certain historique des conditions météorologiques, et apprécier correctement les délais de réponse du bâtiment. L'enregistrement des mesures s'est fait en continu.

Il a été de procéder simultanément aux mesures dans les différents échantillons d'habitat afin de mettre en évidence les réactions différentielles de diverses habitations à des conditions climatiques identiques.

II-1-2 Les appareils de mesure :

L'équipement de mesure installé dans les différents logements se composait de :

- Deux thermographes, pour l'enregistrement graphique de la température à l'intérieur des deux échantillons étudiés.
- Deux hydrographes, pour l'enregistrement graphique de l'humidité relative dans la pièce des deux échantillons étudiés. (figure III- 9)

En ce qui concerne la température extérieure (sous abri) les données ont été enregistrées dans la station météorologique de la ville.

Chaque couplet était placé dans le même endroit pendant les deux séquences des expériences. Afin d'éloigner le plus possible les instruments de mesures des mains des enfants, et pour ne pas les exposer à d'éventuelles manipulations pouvant fausser les mesures, les appareils étaient placés sur un meuble à une hauteur de 1.40m du sol.



Figure III-9 : appareils de mesures
Source : auteur, 2009

II-1-3 La campagne de mesures (période Janvier et juillet 2009) :

Les mesures se sont poursuivies du 9 au 15 Janvier, et du 7 au 13 Juillet, en raison d'une semaine ; la situation climatique du mois de Janvier a été la suivante :

- Une température moyenne normale 13°C, le temps a été un peu nuageux.
- Pluviométrie de 11mm, donc un déficit de la pluviométrie.
- Insolation importante, 284 heures d'insolation.
- Humidité relative moyenne de 23%.
- La vitesse des vents été de 2m/s.

La situation climatique du mois de Juillet a été la suivante :

- Une température moyenne élevée égale à 31°C.
- Une faible pluviométrie, 5mm.
- Insolation très importante, 307heurs.
- Une humidité relative moyenne de 16%, un pourcentage très faible.
- Des vents forts d'une vitesse de 3m/s.

II-1-4 Présentation des échantillons destinés pour les mesures :

Dans le cas précis de notre recherche, l'intérêt principal que présente cette région est certainement le caractère spécifique architectural, constructif et organisationnel de l'espace acquis au cours des différentes périodes, nous permet de faire notre étude comparative entre la construction ancienne et la construction contemporaine.

Le choix d'échantillon a porté sur deux types de logements, pour montrer à quel point l'adaptation climatique est influencée par le type de construction, en tenant compte bien sur des caractéristiques climatiques de Tamanrasset.

1- Un logement contemporain se trouve au quartier (Adriane). le bâtiment choisi de type RDC+1 avec deux appartements par étage, c'est-à-dire quatre appartements par immeuble (figure III-10 et figure III-11).

Par manque de matériel (thermographe et hydrographe), pour pouvoir effectuer des mesures dans plusieurs cas et pendant la même période, nous avons donc testé le cas le plus défavorisé celui du 1^{er} étage, cela nous permet de soupeser l'influence et les conséquences de l'exposition de la toiture terrasse.



Figure III-10 : quartier contemporain (Adriane)
Source : Google Earth 2013

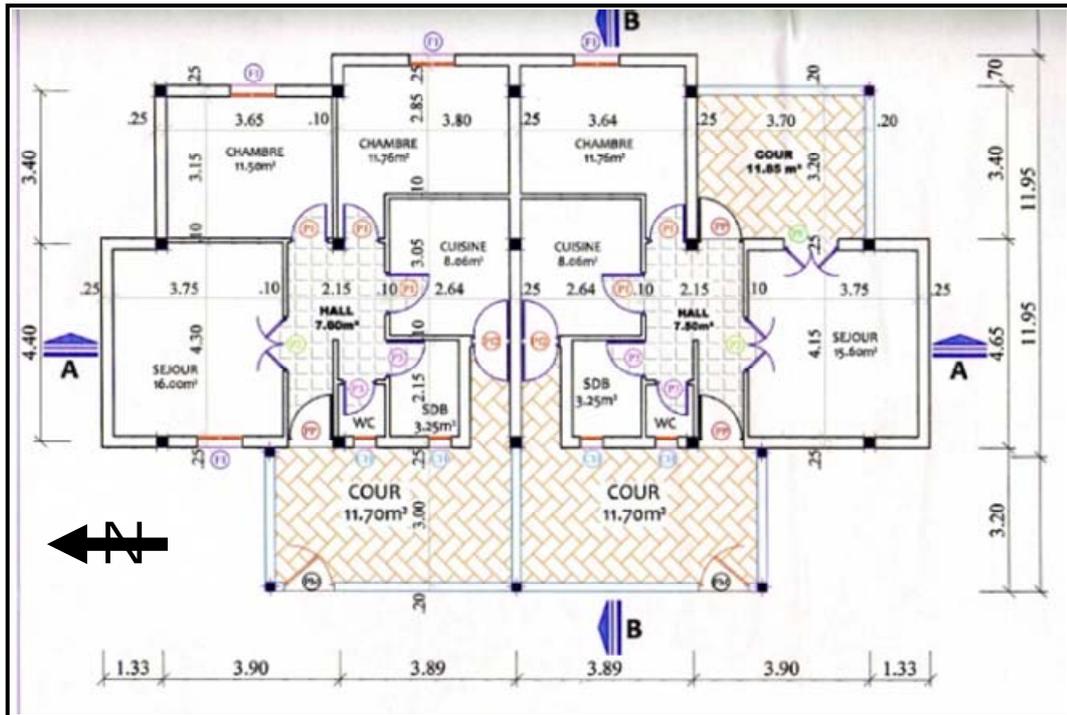


Figure III-11 : plan de l'échantillon destiné pour les mesures (logement contemporain)

Source : OPGI Tamanrasset, 2006

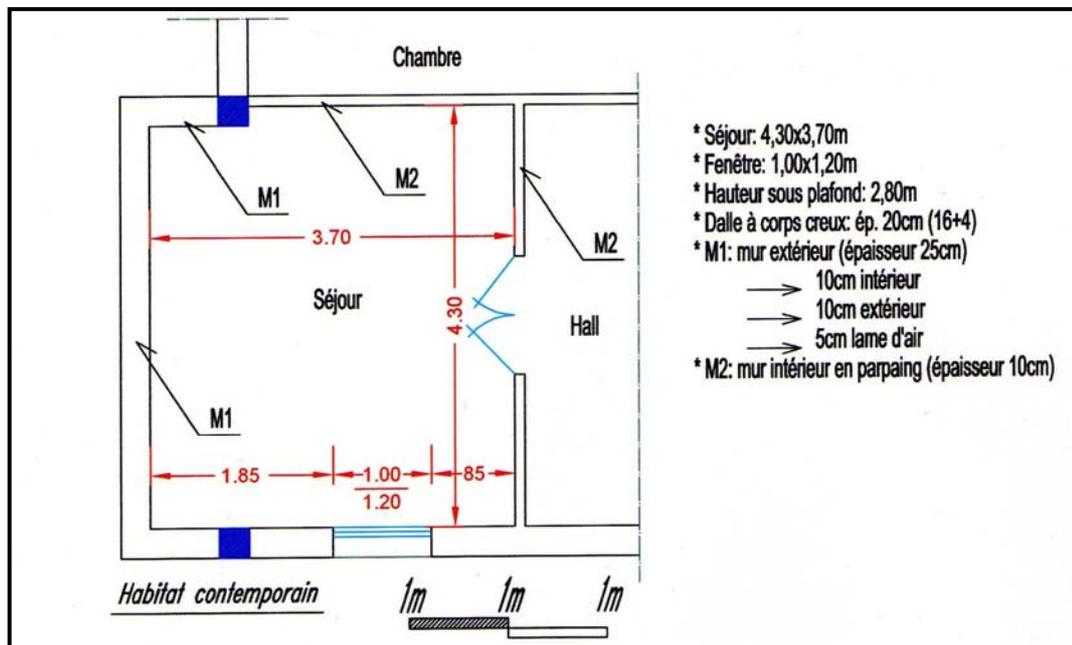


Figure III-12 : plan du local testé (logement contemporain)

Source : OPGI Tamanrasset, 2006

Le logement sur lequel on a fait l'expérience est un type F3, correspond au schéma de la figure III-11, il est majoritaire à la cité. Le local choisi, c'est le séjour (figure III-12), d'une superficie égale à 16m^2 , son volume est de 44.50m^3 , sa fenêtre de 1.20m^2 de surface, est constituée d'un simple vitrage protégé par des volets persienne en bois, ce local est limité par deux murs extérieurs et deux parois intérieures, leur structure est donnée dans la partie II § I-6-2 et les figures II-30 II-31

2- Un logement traditionnel dans l'ancien tissu de Tamanrasset au lieu dit EL-HOFRA (figure III-13), est un logement de type RDC, la maison comportait plusieurs pièces d'habitation(figure III-14), l'expérimentation s'est limitée à une pièce qui est utilisée comme séjour et chambre (figure III-15), sa surface égale à 12m^2 , le volume est de 25.20 m^3 , le local est cerné par trois murs mitoyens, seul le mur d'exposition qui donne sur la cour, ce dernier est doté d'une porte et une fenêtre qui est protégée par un rideau.

Les éléments constructifs sont donnés dans la partie II § I-6-3 et les figures II-27, II-28, II-29.



Figure III-13 : quartier traditionnel (El Hofra)
Source : Google Earth 2013

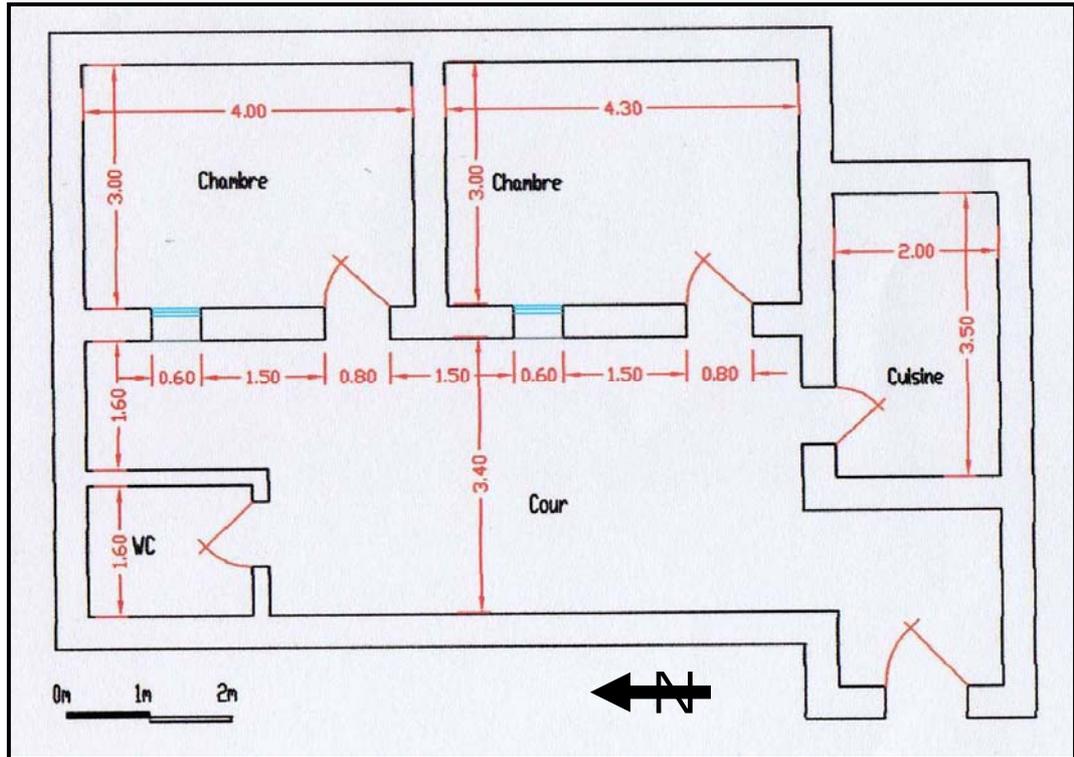


Figure III-14 : plan de l'échantillon destiné pour les mesures (logement traditionnel)

Source : auteur 2009

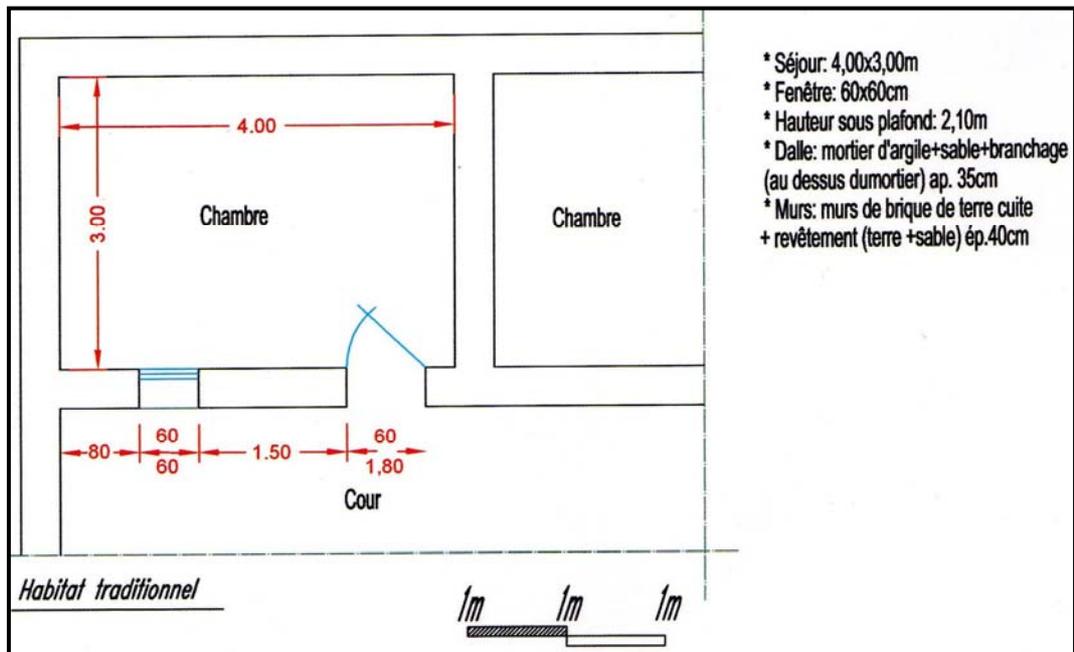


Figure III-15 : plan du local testé (logement traditionnel)

Source : auteur 2009

II-1-5 Conditions des observations :

Les deux espaces testés diffèrent non seulement du point de vue composition urbaine et système constructif, mais aussi des dimensions des ouvertures, le type de protection solaire, le volume habité, le mode d'occupation et le nombre d'occupants.

Les deux locaux ont été observés simultanément au cours d'une semaine en hiver et une semaine en été :

II-1-5-1 Pendant la période chaude et ensoleillée :

a- Cas de l'habitat traditionnel :

- Renouvellement de l'air : la porte et la fenêtre sont maintenues ouvertes à partir du coucher de soleil jusqu'au matin, afin de permettre une aération et refroidissement de l'espace qui sera occupé à longueur de journée, car en générale pendant la nuit, la vie se déroule au sein de la cour.
- Système de protection de l'ouverture se fait par un rideau placé à l'intérieur. Notons que la petite fenêtre est occultée par l'épaisseur du mur.
- Le sol de la chambre est lavé le matin par contre celui de la cour est aspergé d'eau régulièrement pour rafraîchir et humidifier l'air.
- Condition d'occupation : l'espace est occupé uniquement le jour, parce que généralement pendant la nuit, c'est dans la cour que se déroulent toutes les activités (dormir- manger- regarder la télévision, etc.).
- Orientation et ombres portées : à cause de la compacité du tissu urbain, la maison reçoit des ombres portées, donc sa façade est protégée du rayonnement solaire, ce qui diminue l'effet de l'orientation ouest.

b- Cas du logement contemporain :

- Renouvellement de l'air : au couché du soleil les fenêtres sont grandes ouvertes pour permettre la ventilation et l'évacuation de l'intérieur vers l'extérieur des chaleurs cumulées pendant le jour.

- La protection des ouvertures est obtenue grâce au rideau placé à l'intérieur, et de l'extérieur par des volets persiennes en bois.
- Par mesure d'hygiène et dans le but de rafraîchir l'espace, le sol est lavé deux fois par jour (matin et soir).
- L'usage de l'espace : l'espace est utilisé pendant le jour par cinq personnes.
- Orientation et ombres portées : l'éclatement du tissu urbain favorise l'exposition de la façade orientée Ouest aux rayonnements solaires de l'après midi.

II-1-5-2 Pendant la période froide :

a- Cas de l'habitat traditionnel :

- Renouvellement d'air : la porte de la chambre est maintenue ouverte à longueur de journée, parce que toutes les activités ménagères se déroulent dans la cour pour profiter de la chaleur provenant du rayonnement solaire.
- Protection des fenêtres : la fenêtre n'est protégée que la nuit pour empêcher le rayonnement vers la voûte céleste.
- Moyen de chauffage : aucun moyen de chauffage n'est utilisé dans ce cas là.

b- Cas de l'habitat contemporain :

- Renouvellement de l'air : les fenêtres sont ouvertes chaque matin environ trente minutes pour une ventilation hygiénique, c'est-à-dire fournir la quantité d'oxygène nécessaire pour la respiration, ainsi que l'élimination des fumées et des odeurs.
- Protection des fenêtres : afin de laisser pénétrer à travers le vitrage simple la lumière du jour et les rayons solaires, les fenêtres ne sont pas protégées de l'extérieur durant toute la journée. Mais pendant la nuit les persiennes et les rideaux sont fermés pour empêcher le rayonnement vers la voûte céleste.
- Moyen de chauffage : les habitants utilisent une résistance électrique en cas de besoin pendant quelques heures (surtout la nuit).

II-2 Analyse des résultats :

Les mesures effectuées ont permis de donner une série d'enregistrements hebdomadaires de température et d'humidité relative dans chacun des deux types d'habitat testés ; sur les mêmes

enregistrements nous avons également porté la température extérieure sous abri et l'humidité relative extérieure qui ont été enregistrées au niveau de la station météorologique de Tamanrasset.

L'évaluation consiste en l'interprétation des résultats de ces enregistrements, qui nous indique le comportement thermique de chaque type d'habitat, vis-à-vis des conditions climatiques estivales et hivernales. Par conséquent, les variations des températures et des humidités relatives intérieures seront étudiées par rapport à celles de l'extérieur, en fonction du comportement des usagers, et pour finir, une comparaison des résultats des deux logements du point de vue confort thermique, qui permet d'évaluer le degré de satisfaction par rapport aux limites de confort tirées de l'analyse bioclimatique.

II-2-1 Analyse des variations de la température et de l'humidité relative intérieure et extérieure (période hivernale) :

II-2-1-1 Cas de l'habitat traditionnel :

Les résultats obtenus de cette investigation et qui sont montrés sur la figure III-17, indiquent que la température extérieure fluctue entre un minimum égale à 6°C atteint entre 2:00 heures et 6:00 heures , et un maximum de 20°C atteint à 14 :00 heures, alors que la température intérieure se trouve en général au dessous de la température moyenne extérieure d'environ 13,5°C, mais sa fluctuation reste insérée dans un intervalle étroit égale à 1,5°C , marquée par un minimum de 13°C atteint à 7:00 heures et un maximum de 14,5°C enregistré vers 16:00 heures, cette oscillation reste très réduite comparée à celle des températures extérieures égale à 13°C(figure III-16) .

Toujours, à partir de la courbe de la température intérieure, une diminution de 0,4°C par heure est remarquée à partir de 6:00 heures, suite à l'ouverture de la porte et la fenêtre pour l'aération hygiénique, entre 8 :00 heures jusqu'à 14 :00 heures, elle garde sa valeur minimale, à partir de 16 :00 heures, elle commence à augmenter de 0,5°C par heure, pour atteindre son maximum 14,5°C, cette augmentation est due à la fermeture de la porte et la fenêtre, les apports dues à l'occupation de l'espace par quatre personnes, (partie I, § II, tableau N°1), notons que, seulement 20% de toute l'énergie produite par le corps humain est utilisée, les 80% restante

sont dissipées vers l'environnement extérieur pour assurer le maintien de la température interne normale, soit 37°C (Neuf 1978), et enfin les charges internes provenant de la télévision et de la lampe 75 Watt (Porcher G, 1989).

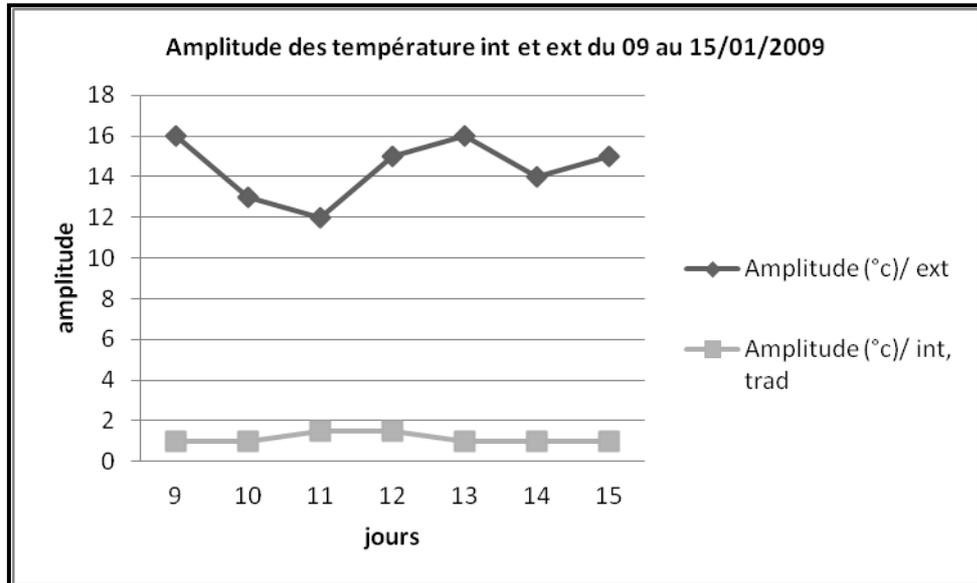


Figure III-16 : amplitude des températures extérieure et intérieure (HT) du 09 au 15/01/2009

Source : auteur 2009

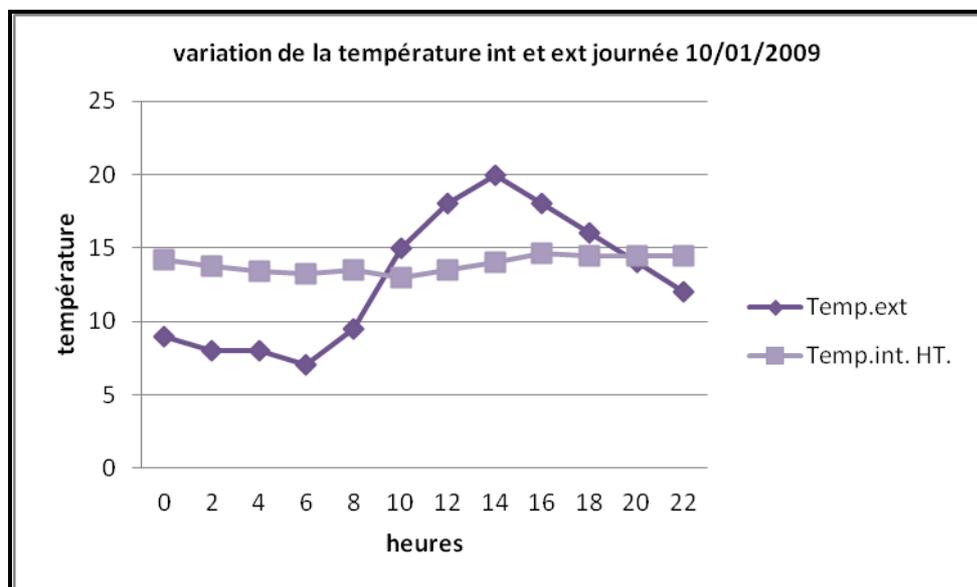


Figure III-17: variation de la température extérieure et intérieure (HT) Journée du 10/01/2009

Source : auteur 2009

Ce qui est remarquable dans ce cas là, c'est la linéarité et la faible pente de la courbe de la température intérieure (figure III-17), cette particularité est due à deux facteurs importants : le premier concerne la compacité du tissu urbain qui diminue les surfaces de l'enveloppe en contact avec l'extérieur, ce qui permet une réduction des déperditions par convection (Fitch J.M, 1960), et le deuxième c'est la forte inertie thermique de la construction, car l'enveloppe est caractérisée par des murs épais constitués par des matériaux locaux idéaux (l'argile et la pierre) offrent une grande capacité calorifique (Fitch J.M, 1960).

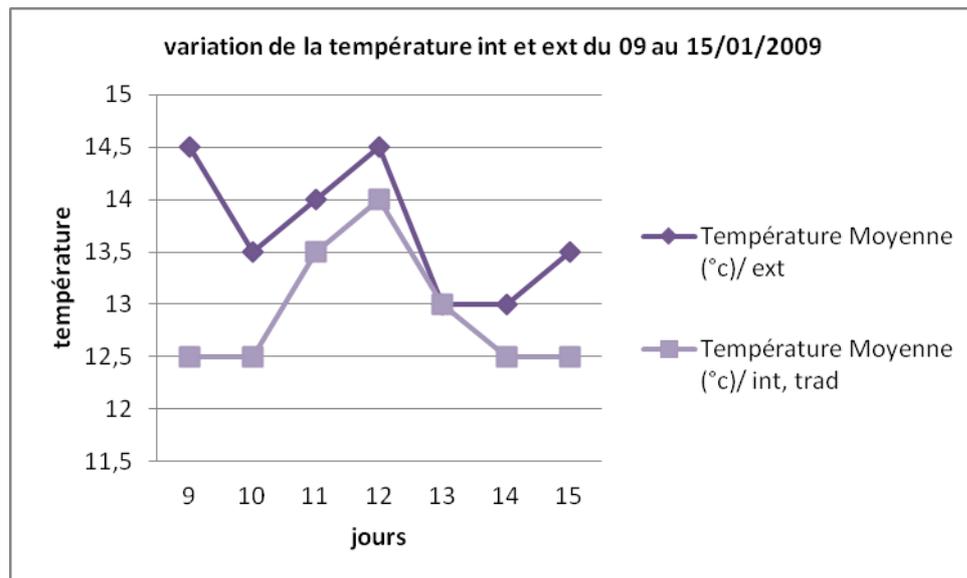


Figure III-18 : variation de la température extérieure et intérieure (HT) du 09 au 15/01/2009

Source : auteur 2009

Quant à l'humidité relative, elle suit l'allure de la courbe de l'HR extérieure, mais sa valeur reste plus élevée, cela peut être remarqué sur la figure III-15 qui montre que l'HR extérieure fluctue entre 22% et 35% avec un écart entre la nuit et le jour égale à 13%, alors que l'HR mesurée à l'intérieur, fluctue entre 37% et 48%, donc, l'écart est égale à 11%.

On remarque aussi que la valeur de l'HR intérieure commence à évoluer à partir de 20 :00 heures pour atteindre son maximum de 48% à 8 :00 heures (figure III-19), ceci s'explique par l'occupation de l'espace par quatre personnes, et l'augmentation de la valeur de l'HR extérieure. A partir de 10 :00 heures elle commence à baisser, à cause de la ventilation hygiénique, la diminution du taux d'HR extérieure, et la fluctuation de la température extérieure qui atteint son maximum 20°C.

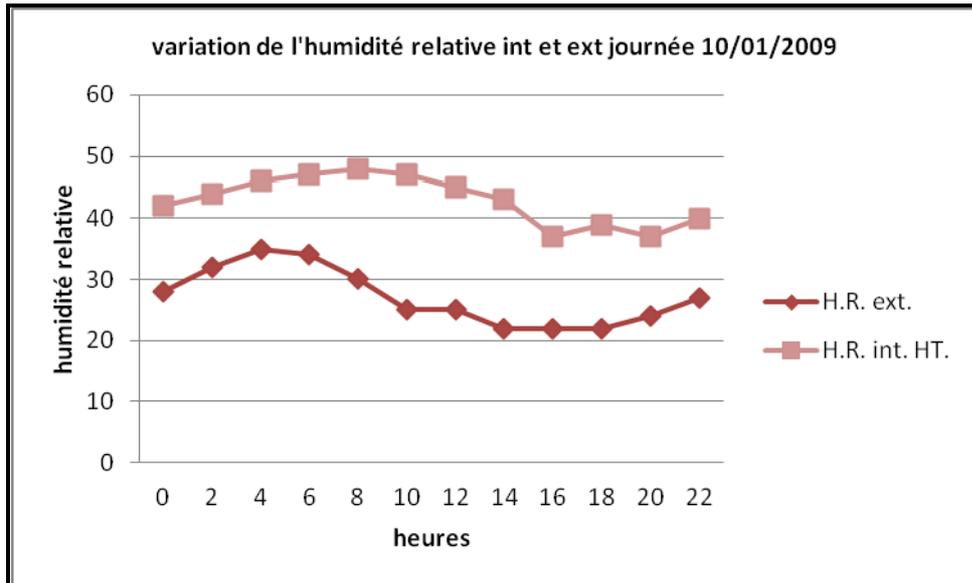


Figure III-19 : variation de l'humidité relative extérieure et intérieure (HT) Journée du 10/01/2009

Source : auteur 2009

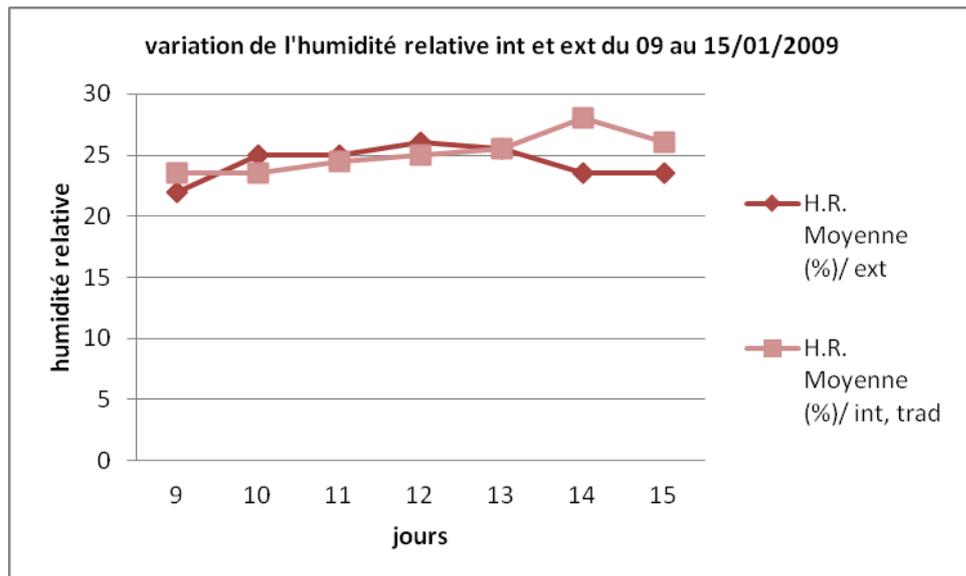


Figure III-20 : variation de l'humidité relative extérieure et intérieure (HT) du 09 au 15/01/2009

Source : auteur 2009

II-2-1-2 Cas de l'habitat contemporain :

Suite à la lecture du graphe représenté dans la figure III-21, la première constatation faite c'est que, l'évolution des températures mesurées à l'intérieur semble suivre le mouvement de la température extérieure, mais avec une fluctuation moins importante que celle de l'extérieure, car l'amplitude de la température intérieure égale à 5°C, alors que celle de l'extérieure arrive jusqu'à 13°C. Mais d'une façon générale, la température intérieure se trouve au dessus de la température moyenne extérieure qui est égale à 13,7°C.

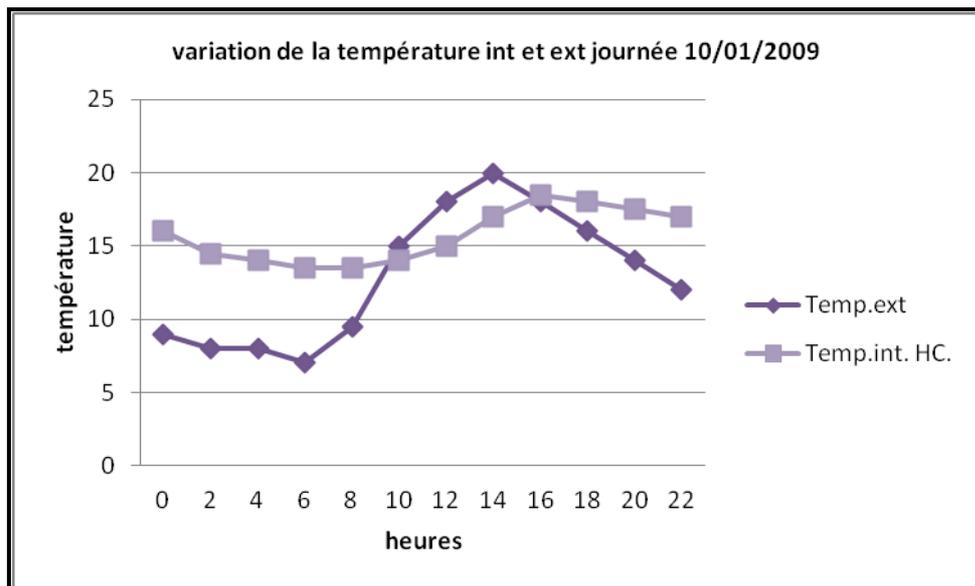


Figure III-21 : variation de la température extérieure et intérieure (HC) journée du 10/01/2009

Source : auteur 2009

Ce qu'on remarque aussi sur la figure III-21, qu'à partir de 10 :00 heure, les deux courbes commencent à accroître, l'évolution de la courbe des températures extérieures égale à 0,8°C par heure, contre 0,5°C par heure pour les températures intérieures, pour atteindre son maximum à 16 :00 heures, donc l'allure de son évolution semble plus accélérée à cause de la fermeture de la fenêtre, la chaleur transmise par la cuisine, car l'apport des sources chaudes dans un local constituent des apports internes (Lallemand A, 1995) et enfin, à cause des apport calorifique directs par le vitrage de la fenêtre orientée à l'ouest.

A partir de 16:00 heures pendant que la température extérieure diminue d'environ 1°C par heure, la température intérieure reste presque constante, cette stabilité est due à plusieurs facteurs, qui sont les charges dues à l'occupation de l'espace, les apports transmis par la télévision et les quatre lampes de 25 Watt, d'après Porch G., "toute énergie électrique se transforme

intégralement en chaleur dégagée par convection avec l'air ambiant et rayonnement absorbé par les parois", (Porch G, 1987), et enfin, la fenêtre fermée et bien occultée de l'extérieur et de l'intérieur, réduisant ainsi les pertes par conduction à travers le vitrage vers la voûte céleste.

(§ IV-1-3-2)

A partir de 2:00 heures, elle commence à diminuer pour atteindre son minimum à 6:00 heures, parce que, à l'extérieur le thermomètre marque 7°C (valeur minimale), et aussi moment d'ouverture de la fenêtre pour l'aération hygiénique.

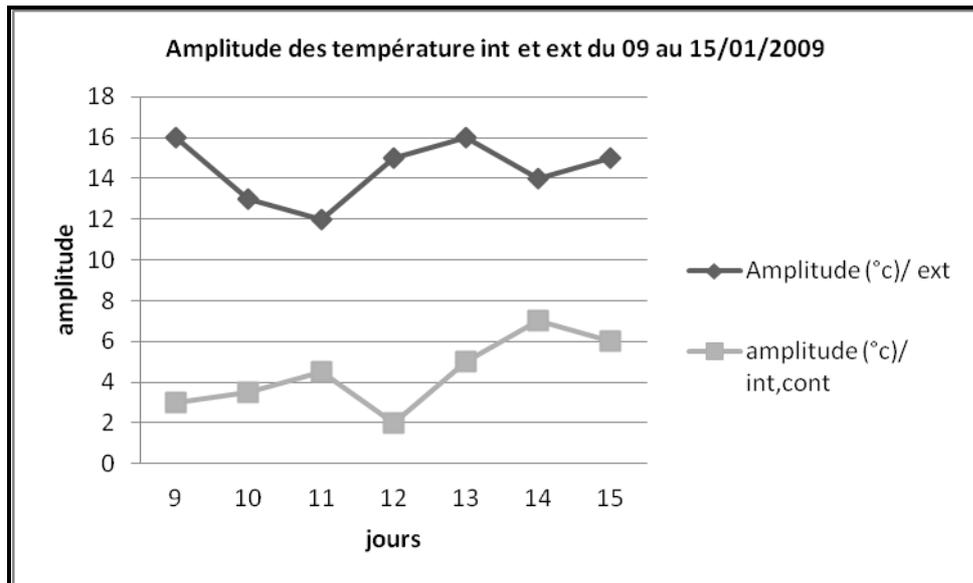


Figure III-22: amplitude des températures extérieure et intérieure (HC) du 09 au 15/01/2009
Source : auteur 2009

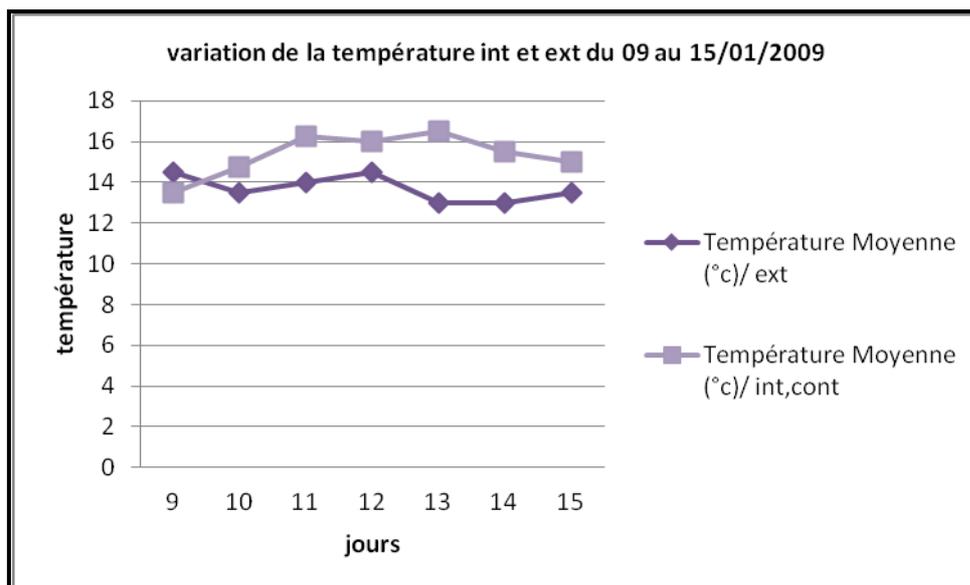


Figure III-23: variation de la température extérieure et intérieure (HC) du 09 au 15/01/2009
Source : auteur 2009

La lecture de la figure III-24 indique l'enregistrement de l'HR à l'intérieure, fait ressortir une valeur qui varie entre 27% à 16 :00 heures et 39% entre 6 :00 heures et 8 :00 heures, mais d'une façon générale, elle suit l'évolution de l'HR extérieure, et fluctue au dessus de la moyenne extérieure qui est égale à 27,16%.

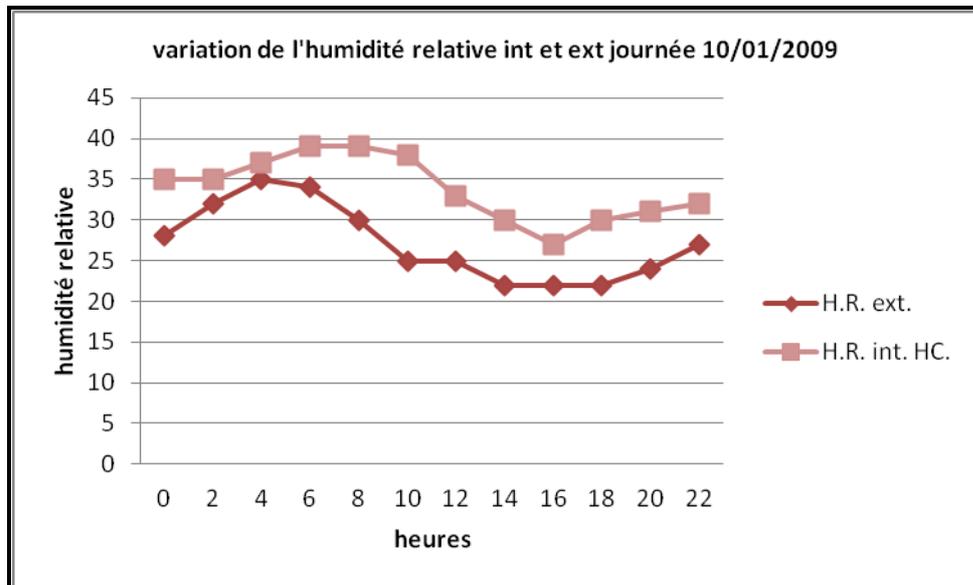


Figure III-24 : variation de l'humidité relative extérieure et intérieure (HC) journée du 10/01/2009

Source : auteur 2009

D'autre part, on constate que la courbe de l'HR intérieure varie dans le sens contraire de la température intérieure, car, à 16 :00 heures quand la température atteint son maximum de 18,5°C, l'HR diminue pour atteindre son minimum de 27% à 16 :00 heures. A partir de 18 :00 heures, l'allure de la courbe fluctue rapidement (figure III-24); influencée par la production de la vapeur d'eau dû aux activités domestiques et le métabolisme humain (Neuf, 1978).

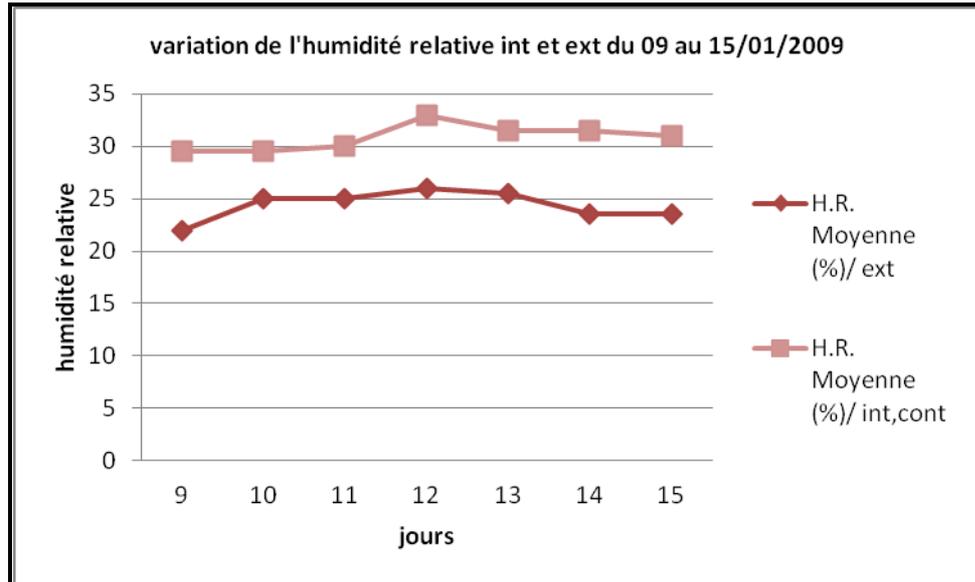


Figure III-25: variation de l'humidité relative extérieure et intérieure (HC) du 09 au 15/01/2009

Source : auteur 2009

II-2-2 Evaluation de la performance thermique de l'habitat testé :

I-2-2-1 Période hivernale :

L'évaluation de la performance thermique de l'habitat à Tamanrasset, nous permet de savoir quel est le comportement thermique d'un tel habitat face au climat de la région, et de déterminer l'effet des différents paramètres intervenants.

Donc, sous les conditions de froid, la figure III-26 permet de constater que la courbe des températures à l'intérieure de l'habitat traditionnel (HT) se trouve au-dessus de la moyenne extérieure avec une oscillation égale à $1,5^{\circ}\text{C}$, par contre, celle de l'habitat contemporain (HC), l'amplitude égale à 5°C , elle se situe au-dessus de la moyenne extérieure. On peut dire que l'HC se caractérise par une température supérieure à celle de l'HT.

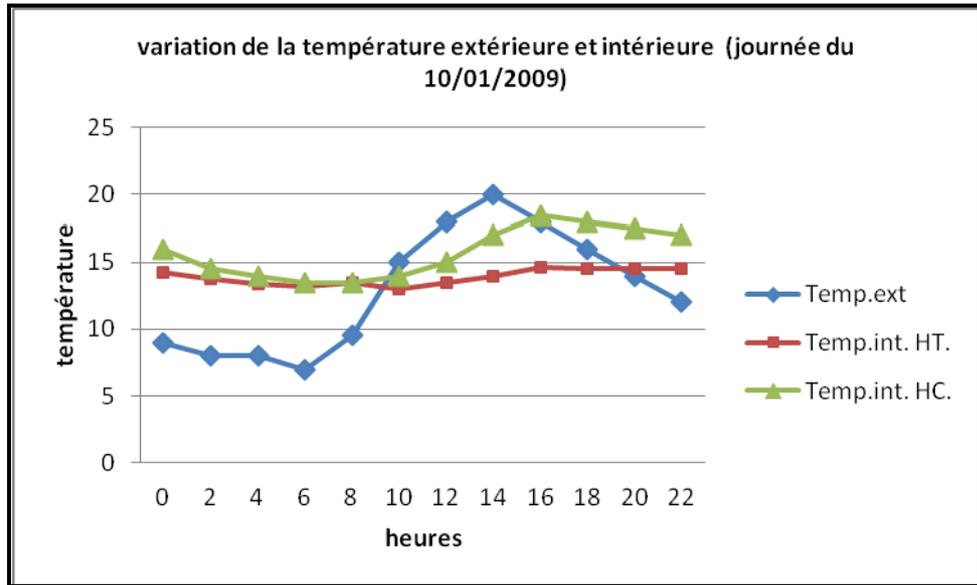


Figure III-26 : variation de la température extérieure et intérieure (HT et HC) journée du 10/01 2009

Source : auteur 2009

Dans le but de déterminer le degré de confort, des échantillons testés, une comparaison des résultats des mesures avec les températures de confort établies d’après la température neutre de Hymphrey, est appliquée. Dans ce cas les valeurs seront comprises entre 17°C et 21°C (figure III-27).

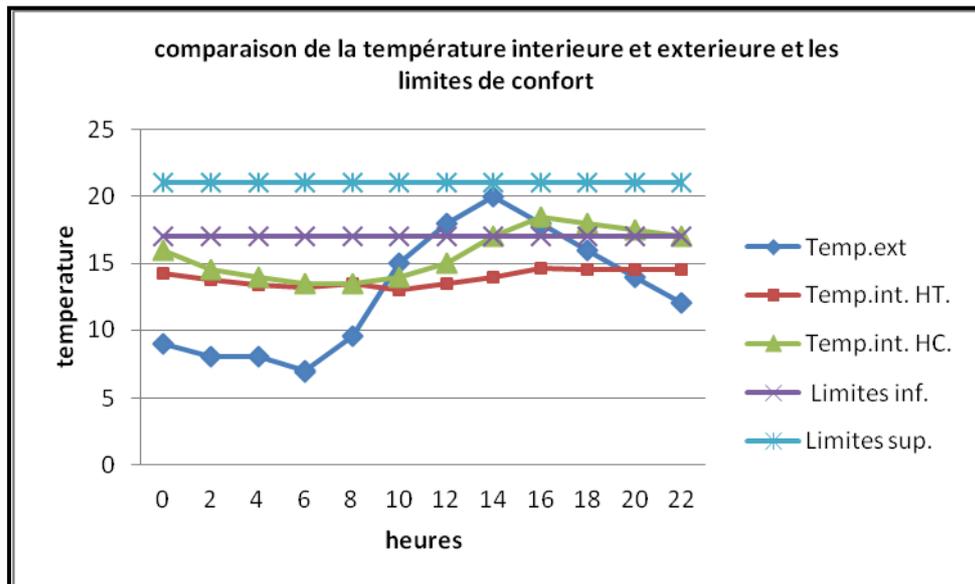


Figure III-27 : comparaison de la température extérieure et intérieure (HT et HC) et les limites de confort

Source : auteur 2009

La comparaison avec ces valeurs indique que, la température à l'intérieure de l'HT se trouve au-dessous de la limite inférieure de la zone de confort avec un écart minimal égal à 2,4°C entre 16 :00 heures et minuit, et un écart maximal de 4°C à partir de 2 :00 heures. Par contre avec la limite supérieure, l'écart varie entre 5,5°C et 8°C, donc l'espace est inconfortable, ce qui justifie le nomadisme journalier des occupants, qui utilisent la cour pendant le jour, afin de profiter de la chaleur en provenance du rayonnement solaire.

Les recherches faites par Givoni ont montré que la grande capacité calorifique des matériaux traditionnels, peut présenter des avantages pendant la nuit ; d'une part, la chaleur stockée est restituée, et d'autre part, la structure chargée de calories se refroidit lentement, et présente des températures nocturnes plus élevées (Givoni B, 1978). Donc on peut atteindre le niveau de confort en associant un chauffage d'appoint pendant la nuit.

Pour le cas de l'HC, nous constatons que, la courbe de la température intérieure reste au-dessus de la température moyenne extérieure, et qu'une partie de cette courbe se trouve en dehors de la limite inférieure de confort, avec un écart minimum de 2°C à 12 :00 heures, et un maximum d'environ 3,5°C entre 2 :00 heures et 10 :00 heures. L'autre partie de la courbe se situe dans la zone de confort, très proches de la limite inférieure, avec un écart maximal de 1,5°C, donc, le confort thermique est atteint pendant la tranche horaire qui s'étale entre 14 :00 heures jusqu'à 00,00h.

Ces résultats confirment les résultats obtenus lors de l'analyse bioclimatique, car la lecture du diagramme psychométrique (partie II § II-3-3, figures II-41, II-42) montre que les mois froids sont en dehors de la zone de confort et glisse vers la gauche, c'est-à-dire dans la zone qui correspond au chauffage solaire passif, et le chauffage d'appoint.

II-2-3 Analyse des variations de la température et de l'humidité relative intérieure et extérieure : période estivale :

II-2-3-1 Cas de l'habitat traditionnel :

En examinant la figure III-29, la première constatation faite, c'est le profil aplati de la courbe de la température intérieure qui s'oppose à l'allure sinusoïdale de la température extérieure, et que la température intérieure est au dessous de la température moyenne extérieure.

La température extérieure évolue rapidement, elle fait apparaître des maxima en début de l'après midi entre 14 :00 heures et 15 :00 heures, d'une valeur égale à 36°C, et des minima à l'aube entre 4 :00 heures et 6 :00 heures du matin, c'est-à-dire elle fluctue jusqu'à 23°C.

On remarque par conséquent qu'à 14 :00 heures l'amplitude de la température extérieure est de 13°C, et celle de la température intérieure mesurée égale à 2°C.

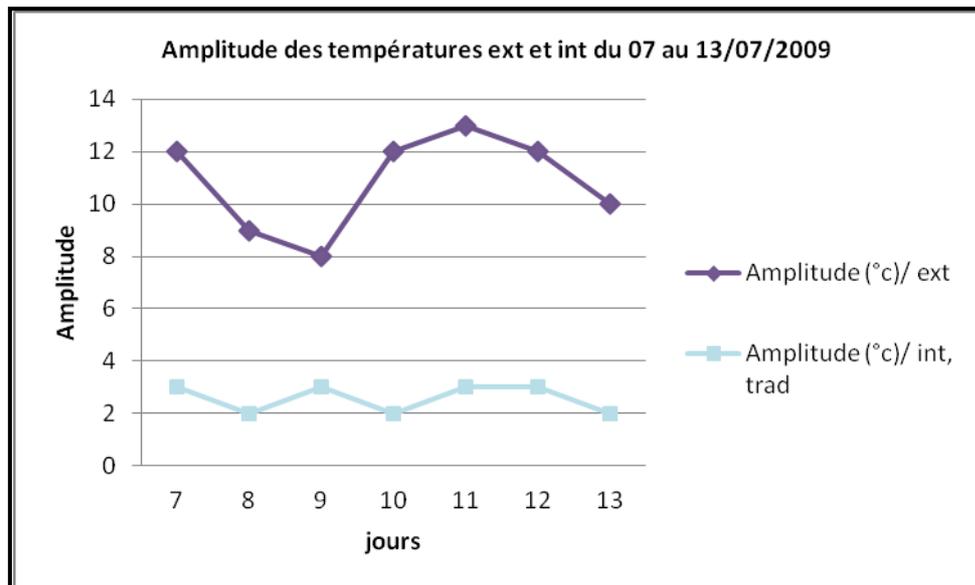


Figure III-28 : amplitude des températures extérieure et intérieure (HT)
du 07 au 13/07/2009

Source : auteur 2009

Donc, la stabilité de l'évolution de la courbe de la température intérieure revient au facteur de mitoyenneté, ainsi que la densité du tissu urbain, car les maisons accolées les unes aux autres réduisent la surface de contact avec l'extérieur. Les rues profondes et sinueuses diminuent le temps d'ensoleillement et protègent les façades (Givoni B, 1991). (§ V-1-3).

Toujours de la figure III-29 on remarque qu'à partir de 16 :00 heures jusqu'au soir, la température intérieure reste constante malgré l'exposition de la façade au rayonnement solaire intense de l'après midi, à cause de son orientation Ouest, ce qui explique une réponse positive quand au comportement thermique de la construction. Cela s'explique par la conjugaison de plusieurs facteurs d'une part la forte inertie thermique qui retarde le flux de chaleur, qui n'atteigne l'intérieur que tardivement le soir, au moment où la température de l'aire extérieure se refroidie (Izard J.L. 1993), et d'autre part des dispositifs ingénieux et des matériaux simples locaux, à la très bonne performance thermique (Fardheb F. 1987), notant que, dans le chapitre I.

§ I-4, les qualités thermo physiques (conductivité et diffusivité) des matériaux employés dans la construction à Tamanrasset ont été vérifiées

De 2:00 heures jusqu'à 8:00 heures du matin, moment où la température extérieure atteint son minimum, la température intérieure commence à baisser lentement sous l'effet de la ventilation nocturne qui est faible à cause des dimensions des ouvertures et la compacité du tissu urbain. (partie I § V-1-2)

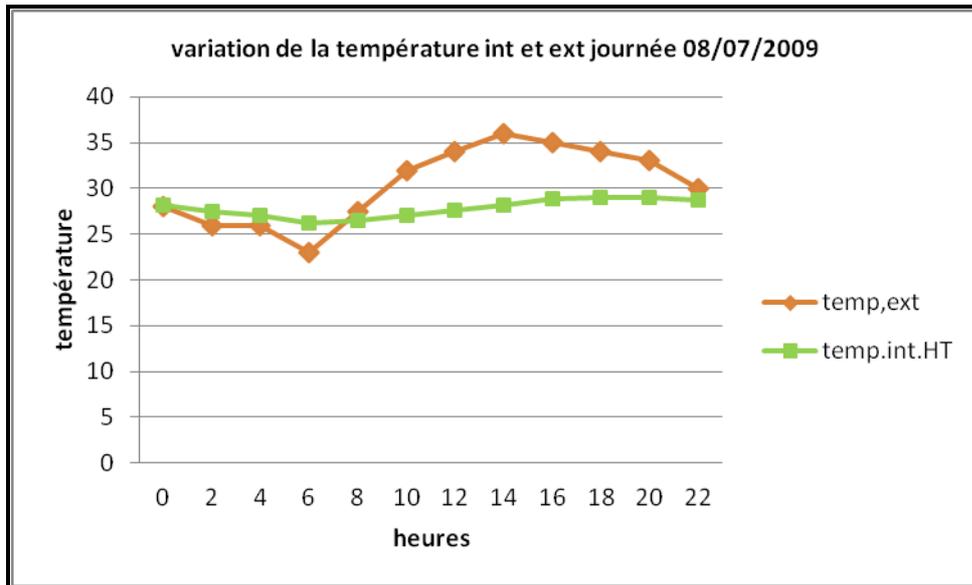


Figure III-29 : variation de la température extérieure et intérieure (HT) journée du 08/07/2009

Source : auteur 2009

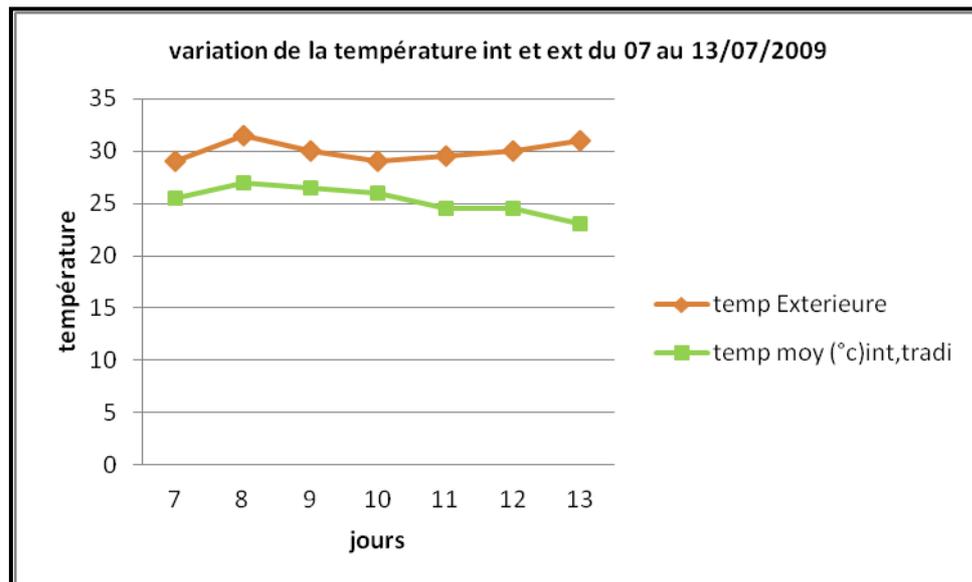


Figure III-30 : variation de la température extérieure et intérieure (HT) du 07 au 13/07/2009

Source : auteur 2009

Pour ce qui est de l'humidité relative représentée par la figure III-31, d'une façon générale, elle se trouve au dessous de la moyenne extérieure égale à 17,5 %, on remarque aussi, que la courbe évolue de façon très uniforme et régulière malgré les fluctuations de la température extérieure, son oscillation varie de 14% valeur minimale enregistrée à 22 :00 heures contre 30% à l'extérieur. Et 20% valeur maximale entre 8 :00 heures et 14 :00 heures, cette augmentation est due au nettoyage du sol le matin dans le but de rafraîchir l'espace (figure III-31).

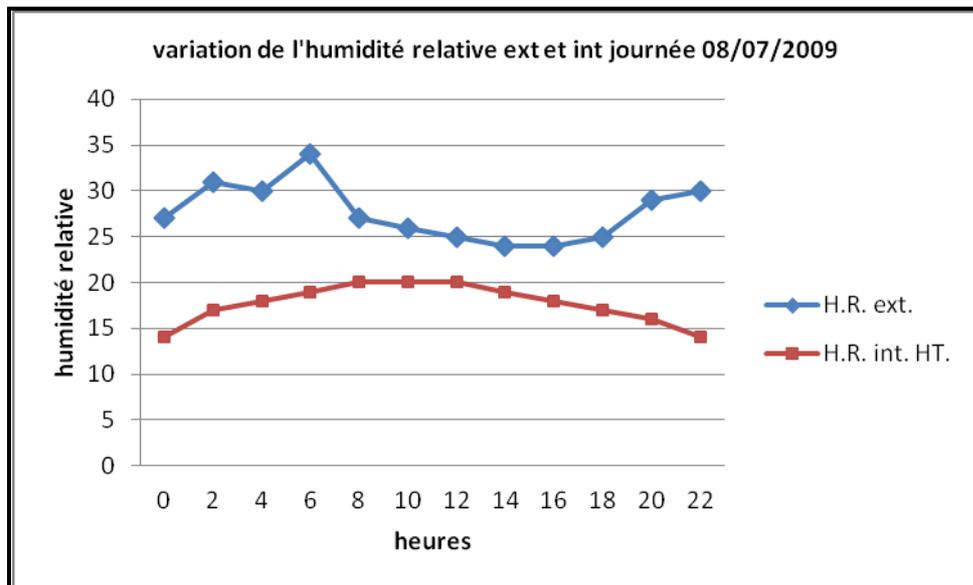


Figure III-31 : variation l'humidité relative extérieure et intérieure (HT)
Journée du 08/07/2009

Source : auteur 2009

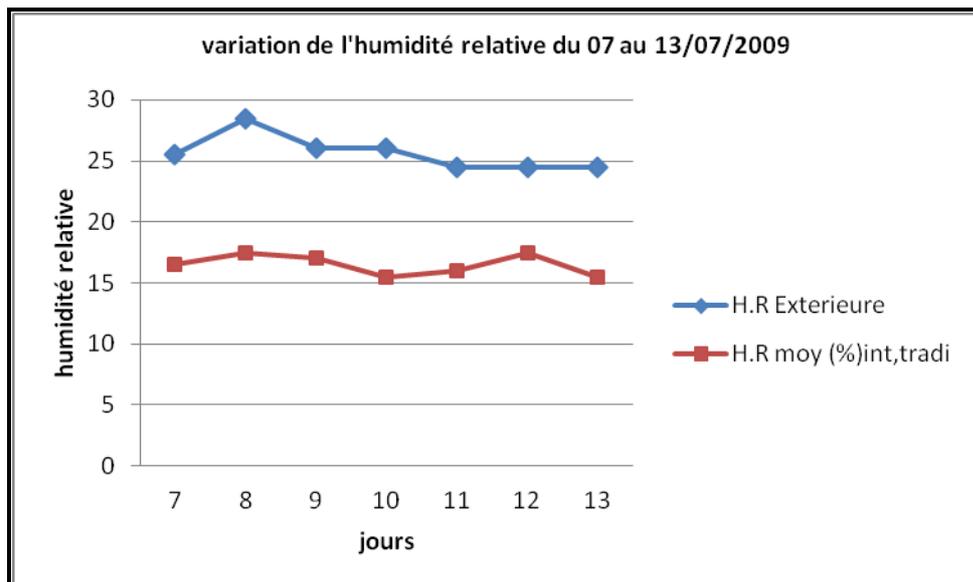


Figure III-32 : variation de l'humidité relative extérieure et intérieure (HT)
du 07 au 13/07/2009

Source : auteur 2009

II-2-3-2 Cas de l'habitat contemporain :

Les températures mesurées à l'intérieur du séjour sont représentées sur la figure III-34, d'une façon générale ce qui se distingue lors de la lecture de ce graphe, c'est qu'entre 22 :00 heures et 10 :00 heures les températures intérieures sont supérieures par rapport aux températures extérieures, et entre 10 :00 heures et 22 :00 heures, elles sont inférieures par rapport aux températures extérieures, ce phénomène peut être expliqué de la manière suivante : 23°C c'est la température minimale extérieure enregistrée à 6 :00 heures du matin, donc au moment du lever du soleil ; le maxima égale à 36°C est obtenu entre 13 :00 heures et 14 :00 heures, durant cet intervalle de temps l'amplitude est de 13°C, elle augmente à raison de 1,6°C par heure.

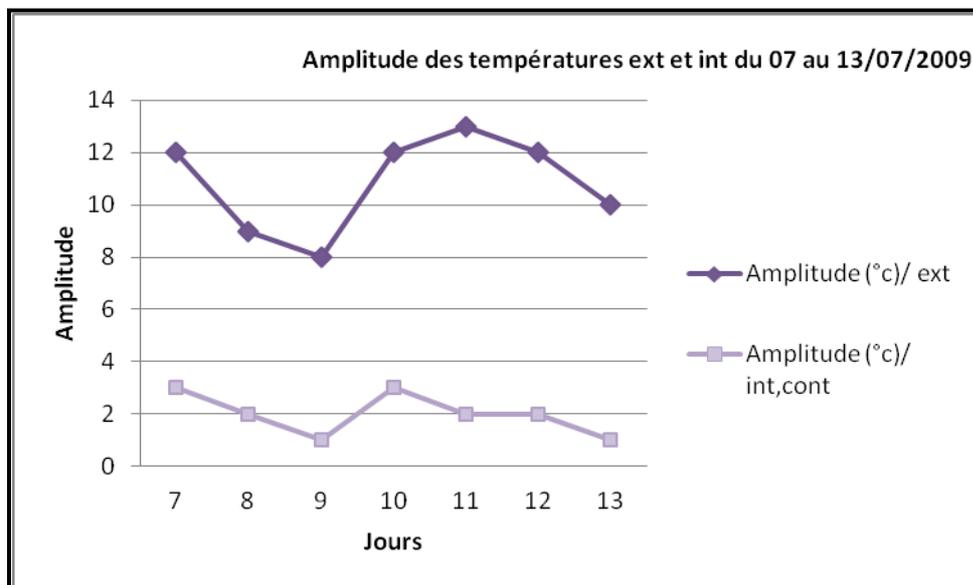


Figure III-33: amplitude des températures extérieure et intérieure (HT)
du 07 au 13/07/2009

Source : auteur 2009

A l'intérieur du local expérimenté, on remarque qu'entre 4 :00 heures et 8 :00 heures la température est minimale et constante, d'une valeur égale à 29°C, cette stabilité est due aux conditions sous lesquelles le local est soumis : ouverture des fenêtres pour l'aération, car la ventilation du refroidissement de la structure du bâtiment permet de décharger thermiquement la masse du bâtiment, surtout la nuit afin de diminuer les température diurnes, il est à noter que la température sèche s'abaissera de 3°C dès que l'air se déplacera à la vitesse de 1m/s. (Izard J.L, 1993 ; Writh D,1979) ; et aussi le lavage du sol le matin pour le nettoyage et le refroidissement du moment que toute humidification de l'air produira du froid (Izard J.L 1993).

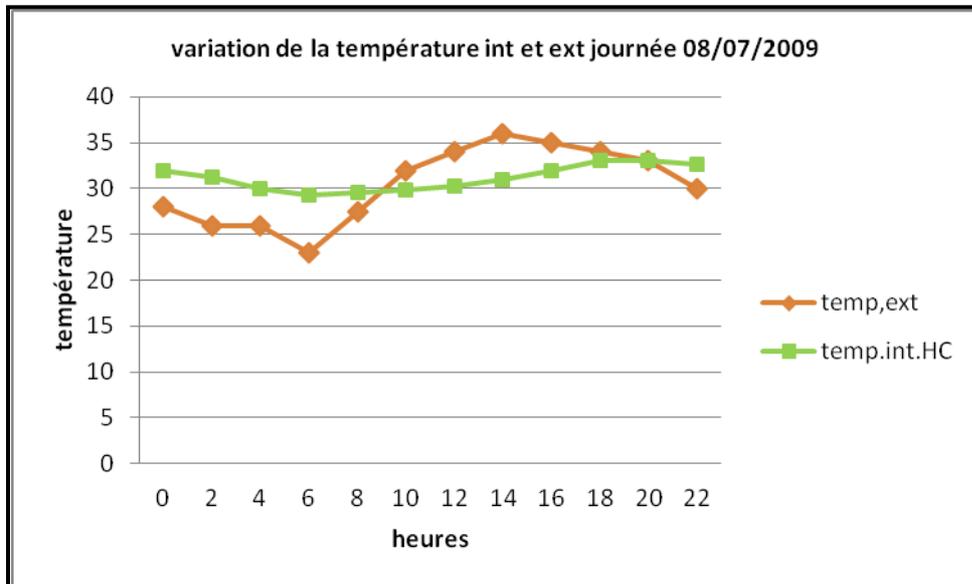


Figure III-34 : variation de la température extérieure et intérieure (HC)
Journée du 08/07/2009

Source : auteur 2009

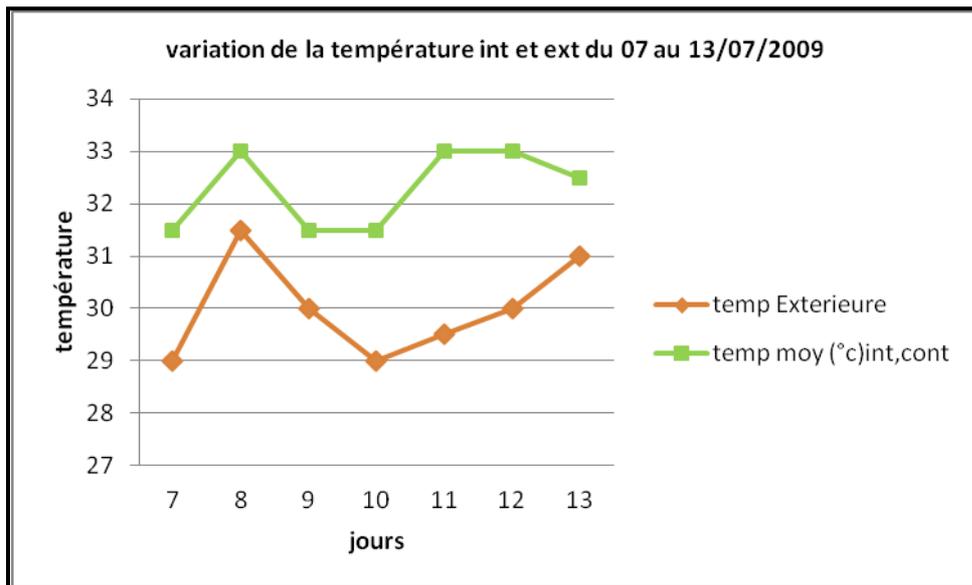


Figure III-35 : variation de la température extérieure et intérieure (HC)
du 07 au 13/07/2009

Source : auteur 2009

A partir de 10 :00 heures jusqu'à 18 :00 heures, la température atteint son maximum 33°C, l'oscillation est de 4°C, donc une augmentation de 0,6°C par heure, ceci signifie que la réponse aux sollicitations extérieures est presque immédiate à cause d'une part, la toiture terrasse qui est exposée à l'incidence du rayonnement solaire toute la journée, et d'autre part au mur extérieur orienté à l'ouest et soumis à l'intensité du soleil de l'après midi. La chaleur sera donc transmise à l'intérieur par conduction à travers ces éléments constructifs caractérisés par, une mauvaise qualité thermo physique, cette dernière a été vérifiée dans le chapitre I § I-4, sans oublié la fenêtre orientée à l'ouest, car une surface vitrée à toujours un effet d'augmentation de la température interne diurne (Izard J.L, 1993), et qui peut transmettre à travers son verre claire 87% de l'éclairement énergétique solaire (Writh D, 1979). Cette chaleur dissipée dans le local, reste piégée jusqu'au coucher du soleil.

Au-delà de 18 :00 heures la température extérieure commence à baisser à raison de 1.1°C par heure, mais la température intérieure ne commence à baisser qu'à partir de 22 :00 heure, c'est-à-dire 4 :00 heures après, car les parois extérieures continuent à transmettre vers l'intérieur de la chaleur cumulée pendant le jour; au-delà de 23 :00 heures, la température intérieure diminue d'une façon remarquable, cela est dû au procédé de rafraîchissement par rayonnement nocturne qui se produit par nuit claire.

La courbe de l'humidité relative (figure III-36) évolue d'une façon uniforme et régulière, elle suit l'augmentation de l'humidité relative extérieure, par contre elle évolue dans le sens contraire des fluctuations de la température extérieure, du moment que l'humidité relative diminue lorsque l'aire est chaud et sec, car avec une température égale à 36°C, l'humidité relative extérieure égale à 10%.

Ce qui est remarquable, dans la figure III-36 c'est que l'humidité relative intérieure est supérieure à celle de la moyenne extérieure, et elle atteint son maximum entre 20 :00 heures et 6 :00 heures du matin, cela est dû à la présence des occupants, aux tâches ménagères qui se déroulent et surtout au lavage du sol deux fois par jour.

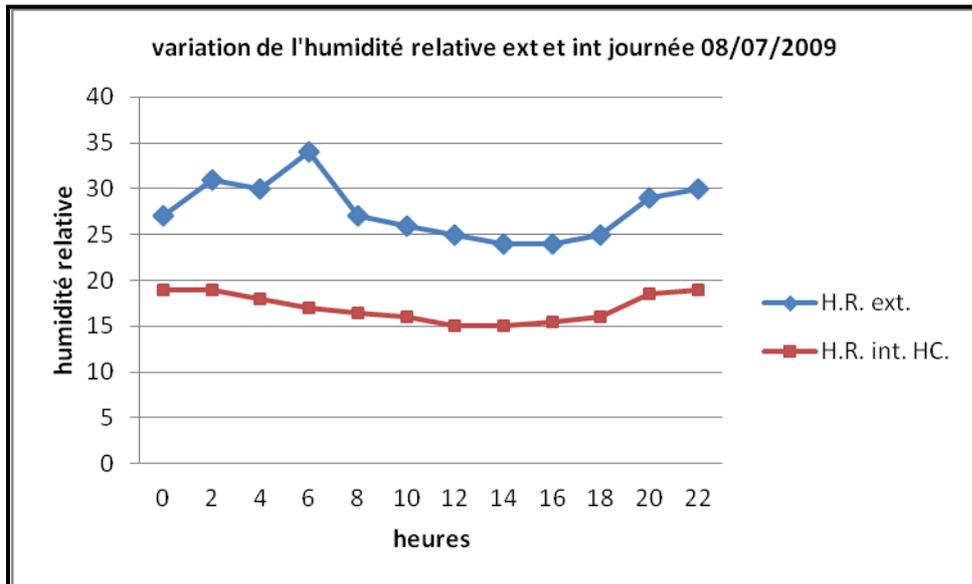


Figure III-36 : variation de l'humidité relative extérieure et intérieure (HC)

Journée du 08/07/2009

Source : auteur 2009

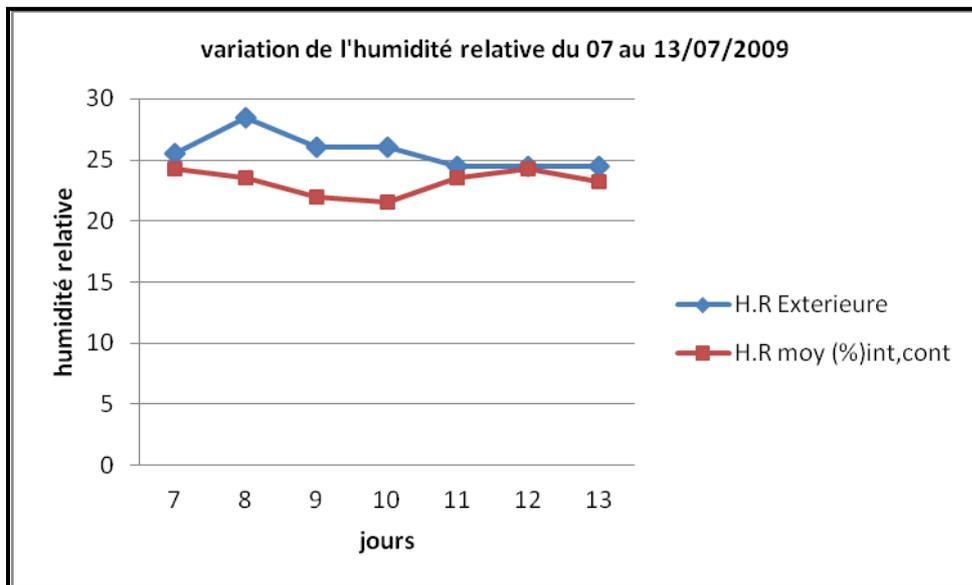


Figure III-37 : variation de la température extérieure et intérieure (HC)

du 07 au 13/07/2009

Source : auteur 2009

II-2-4 Evaluation de la performance thermique de l'habitat testé (Période estivale) :

D'après l'analyse des températures mesurées à l'intérieure des deux types de logements pendant la période chaude, la comparaison de ces résultats se résume comme suit :

Sous les conditions de chaleur, et comme il est mentionné sur la figure III-38, on peut constater que l'oscillation horaire des températures de l'HT est de 2°C, avec une augmentation de 0,3°C par heure, alors que dans l'HC l'amplitude est de 4°C, avec une fluctuation de 0,5°C par heure, ce qui nous permet de dire que l'HC éprouve une forte hausse de sa température intérieure que celle de l'HT.

En conséquence, pour pouvoir évaluer la performance thermique des logements testés, les résultats des mesures seront situés dans une zone de confort déjà défini lors de l'analyse bioclimatique (partie II, chapitre II), d'après la température neutre de Humphrey, cette zone est comprise entre 25°C et 29°C.

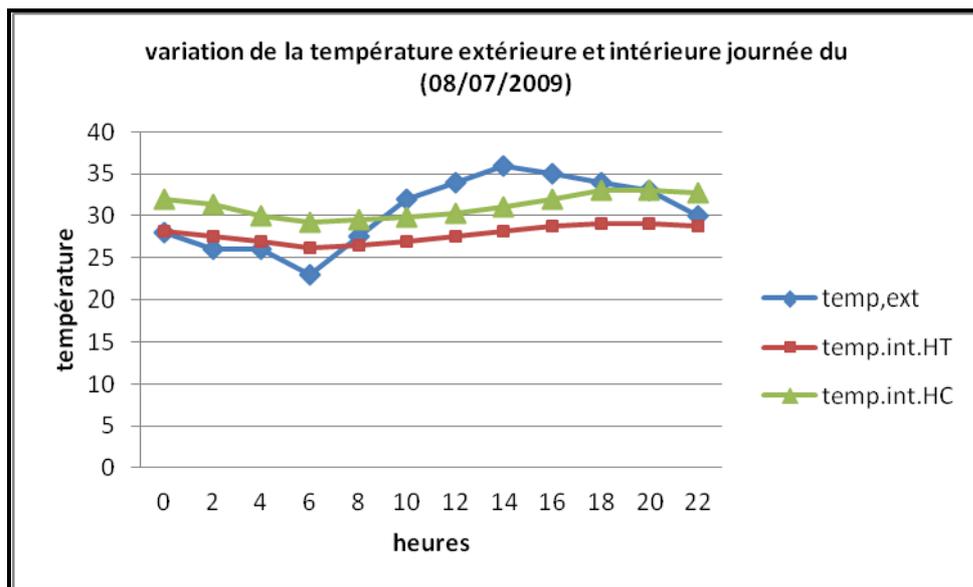


Figure III-38 : variation de la température extérieure et intérieure (HT et HC)
Journée du 08/07/2009

Source : auteur 2009

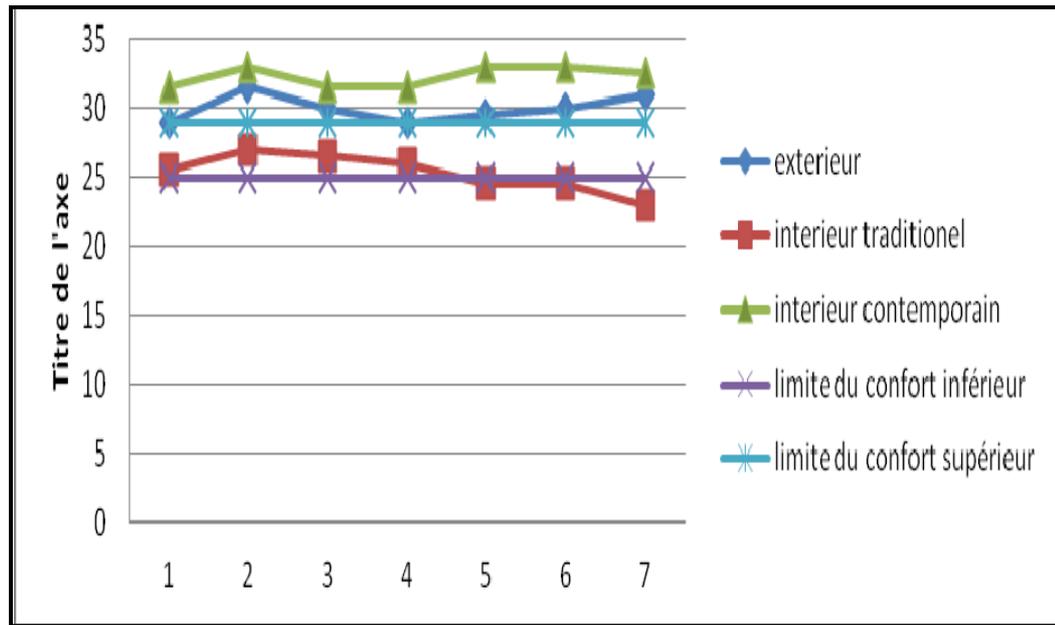


Figure III-39 : comparaison des températures mesurées avec les limites de confort

Source : auteur 2009

En comparant la température intérieure avec les limites de confort (figure III-39) nous constatons que la courbe des valeurs de l'HT se situe dans la zone de confort, entre 6 :00 heures et 8 :00 heures du matin, elle est proche de la valeur inférieure avec un écart minimum de 1,2°C, par contre entre 18 :00 heures et 20 :00 heures , elle coïncide avec la valeur supérieure de la limite de confort, cette augmentation est due d'une part, à la chaleur extérieure qui commence à pénétrer à l'intérieure de la chambre, et d'autre part à la présence des occupants.

Dans le sillage de ce qui a été dit, la conclusion sera ; malgré ces bons résultats, avec l'existence des espaces à confort différent, les habitants déplacent leurs lieux de vie en fonction de l'ambiance la plus favorable. En effet l'usage des chambres en milieu de la journée et l'après midi, la cour pendant le matin et la nuit dans la but de, bénéficier du rafraîchissement nocturne obtenue grâce au facteur de ventilation, ce dernier a, un effet direct sur le corps humain, par l'effet physiologique de la pureté de l'air et de ses mouvements, et un effet indirect, par son influence sur la température et le taux d'humidité de l'air et des surfaces intérieures. Dans un climat chaud, une vitesse de vent de 1m /s procure à l'usager une sensation agréable (SZockolay S, 1980).

La courbe des températures intérieures de l'HC se trouve au-dessus des limites de confort (figure III-39), elle présente un écart maximum de 4°C par rapport à la limite supérieure, et un écart minimum d'environ 1°C obtenu pendant un faible tranche horaire (vers 5 :00 heures du matin), moment où la température extérieure atteint son minimum, la chaleur excessive de l'intérieur est dissipée grâce à la ventilation transversale, par le biais des fenêtres ouvertes, et le rafraîchissement par rayonnement nocturne à travers l'enveloppe et la toiture vers la voûte céleste ; notons que, tout corps tiède peut se refroidir en émettant de l'énergie radiante de grandes longueurs d'onde vers les profondeurs glacées de ces espaces infinis (Izard J.L, 1993). De cette façon l'enveloppe perd lentement sa chaleur pour permettre une ambiance fraîche pendant le jour (la matinée).

Ces distinctions nous permettent de démontrer les effets des différents paramètres intervenant sur la température intérieure de chaque cas :

- a- Les qualités de confort thermique des constructions traditionnelles étaient assurées à l'origine par :
 - Type de morphologie urbaine de maison accolées les unes aux autres, ce qui diminue la surface de contact avec l'extérieur, donc une forme qui permet de perdre un minimum de chaleur en hiver et d'en gagner un minimum en été (Lavigne P, 2009).
 - La protection des façades contre le soleil et le vent est assurée par des rues profondes et sinueuses qui diminuent le temps d'ensoleillement. On peut donc dire que ce type de morphologie urbaine crée un micro climat favorable (Abdulac S, 1982)
 - Les murs et les planchers par leurs épaisseurs, leurs poids et la qualité thermo-physique des matériaux ainsi que, la forte inertie thermique, offrent de remarquables qualités d'isolations thermiques, d'autant plus que les maisons sont fermées ou très peu ouvertes sur l'extérieur, ce qui diminue les apports et les déperditions qui se manifestent à travers les surfaces transparentes (Salomon, T 2006).
 - Ainsi que le rôle de la cour en tant que régulateur thermique par excellence (Bennadji A, 2000).
 -
- b- Dans le cas de l'HC, la composition d'un tissu compact n'existe pas, on trouve un tissu éclaté qui, d'une part augmente les surfaces goudronnées (routes et parkings), ces surfaces absorbent la chaleur pendant le jour, et la restituent dans l'air pendant la nuit. D'autre part, les constructions dispersées créent des espaces libres, et nus autour des

volumes, ce qui favorise la réflexion de la chaleur vers les bâtiments, on peut citer comme exemple le facteur de réflexion (l'albédo) de l'asphalte égale à 15%, argile 23% (Konia A, 1982).

- L'implantation arbitraire des constructions permet une diversité d'orientation par rapport aux points cardinaux, ceux qui aggrave le problème de confort thermique à l'intérieur des logements (réchauffement excessif en été).

Les recherches menées par Mazria ont abouti à une forme optimale générale donnant les meilleurs résultats dans chaque cas et pour tous les climats ; forme allongée dans la direction est-ouest (Mazria E, 1981), Givoni a démontré qu'une orientation additionnée à une couleur blanche (Badigeonné à la chaux), qui a un facteur d'absorption faible, sera plus efficace (Givoni B, 1998).

- Type de construction extravertie permettant à l'espace de s'ouvrir directement sur l'extérieur par de larges fenêtres, qui sont protégées uniquement par des persiennes en bois, d'après Mazria, la protection externe est une formule excellente parce, que quand l'occultation intercepte le rayonnement à l'extérieur, une faible partie pénètre vers l'intérieur, mais elle sera plus efficace, si elle est dotée d'éléments d'ombrage telles que les avancés horizontales ou boîte à œuf (Mazria E, 1981).
- La faible épaisseur et la faible capacité calorifique des matériaux de constructions, la grande proportion des surfaces de contact avec l'extérieur, tous ces paramètres facilitent le transfert rapide de la chaleur extérieure vers l'intérieur des logements. (Alpheeis P, 2003)
- La toiture plate augmente l'énergie incidente, car c'est la surface qui reçoit la plus grande quantité d'irradiation en été, donc, elle transmet 2/3 des transferts de chaleur de l'enveloppe vers l'intérieur du bâtiment. La réflectivité et l'isolation de la toiture limitent ces apports thermiques (Penportier, B. 2006). Il y a aussi l'effet du badigeon à la chaux qui est plus efficace, puisqu'il permet au plafond de se refroidir d'avantage que les surfaces non protégées, alors que les matériaux isolants réduisent le refroidissement la nuit (Givoni B, 1978).

En comparant ces résultats avec le diagramme psychrométrique (partie II §II-3-3, figures II-41, II42), on remarque que les mois chauds touchent la zone de confort, et glissent vers la droite dans la zone de contrôle potentiel pour les périodes chaudes qui sont, la zone d'effet de masse, d'effet de masse avec ventilation nocturne, zone de refroidissement. Dans ce cas, des

dispositions d'insertion et des caractéristiques morphologiques des bâtiments doivent répondre à ces critères pour pouvoir atteindre le confort thermique.

Nous pouvons conclure que, l'adaptation du bâtiment au climat dépend non seulement de la construction, mais elle est aussi relative au comportement des occupants, ces derniers interviennent de plusieurs manières, selon leurs besoins et en fonction des moyens dont ils disposent. Ainsi ils utilisent, soit un seul moyen, ou associent plusieurs moyens à la fois pour atteindre le confort souhaité.

En effet, le confort thermique n'est pas uniquement fonction des données physiques, mais également des données physiologiques, c'est une notion subjective (Lavigne P, 1980).

Aussi la sensation de confort thermique diffère d'une région à une autre suivent le climat et la culture des peuples (Izard J.L, 1993).

Conclusion :

L'analyse thermique en conditions réelles de l'habitat nous a permis, de mesurer l'impact de la situation climatique sur les constructions, et de mettre à jour le rôle des différents éléments de l'enveloppe, et des principales dispositions rencontrées. A ce titre, on a pu révéler la présence de plusieurs critères d'adaptation du logement traditionnel surtout pendant la période chaude et de logement contemporain en période froide, d'autre part, elle a permis de mettre l'accent sur tous les problèmes et les conséquences qui en découlent pour les deux types de constructions analysées et pendant les deux saisons (chaude et froide).

Dans ce contexte, le résultat de la période froide montre que la température à l'intérieur de l'H.C est supérieure à celle de l'H.T, avec une amplitude égale à 5°C contre 1,5°C.

De ce fait, le confort thermique est atteint pendant la tranche horaire entre 14,00h et minuit, par contre dans le cas de l'H.T, la température intérieure enregistrée se trouve en dehors des limites de confort, donc le confort thermique n'est pas atteint, ce qui oblige les occupants à se déplacer vers la cour pour profiter des apports de chaleur en provenance du soleil.

Cependant, le confort thermique peut être atteint en utilisant un chauffage d'appoint pendant la nuit.

Par contre, pendant la période chaude qui est longue et rude, le résultat des mesures indique que, l'H.C éprouve une forte hausse de sa température intérieure par rapport à celle de l'H.T, cela est justifié par la valeur de l'oscillation horaire qui est égale à 4°C, avec une fluctuation de 0,5°C/h, d'autre part, la courbe des températures intérieures se trouve au dessus des limites de la zone de confort avec un écart compris entre 4°C et 1°C, par contre, la courbe l'H.T se situe à l'intérieure de la zone de confort pendant une bonne partie de la journée.

Le bilan énergétique de toute construction est gouverné par l'interaction de plusieurs facteurs, allant des dispositions d'insertion jusqu'au caractéristiques morphologiques (forme, orientation, caractéristiques thermiques des matériaux, ventilation, etc.), et, également le comportement dynamique de l'occupant (Writh D, 2003).

La chaleur et le froid sont les éléments qui affectent le confort thermique, face à ces facteurs, la construction doit répondre aux critères suivants (Lavigne P, 1989) :

- Elle doit posséder une autonomie thermique suffisante pour maintenir le confort intérieur malgré l'ampleur des forces climatiques.
- Elle doit être en mesure de conserver en elle la chaleur ou le froid.
- Elle doit par sa conception, admettre ou rejeter la chaleur solaire à la demande.
- La préoccupation énergétique d'hiver ne doit pas faire oublier le confort d'été, et les dispositions qui concourent à la régulation thermo hygrométrique (ventilation, humidification) (Givoni B, 1978).
- En été, une construction à apport direct, a un fonctionnement tout simplement inversé par rapport à celui de l'hiver, le même stockage en maçonnerie intérieure crée une réserve de fraîcheur captée la nuit en été (Mazria E, 1987) .

Chapitre 3 : SIMULATION DU COMPORTEMENT THERMIQUE DE LA CONSTRUCTION

I introduction

L'analyse thermique par simulation se fait dans une perspective d'intégration des paramètres physiques et climatiques au processus de conception des bâtiments, elle permet aussi l'évaluation et le contrôle thermique des projets.

L'évaluation par simulation informatique est plus flexible dans la mesure où elle permet d'évaluer les performances thermiques d'une construction, tout en agissant à volonté sur des variables relatives au climat, au bâtiment, aux matériaux, à l'occupation, etc.

D'après Clark J.A, les phénomènes que les modèles de simulation thermique doivent prendre en compte sont :

- * le transfert de chaleur par conduction à travers l'enveloppe et les effets de stockages calorifiques dans la masse de bâtiment.
- * les gains calorifiques dus aux occupants, aux appareils, à la lumière électrique, etc.
- * les infiltrations d'air.
- * l'ombrage des parois opaques et transparentes, dû aux masques: bâtiments alentours de même qu'aux différentes obstructions de façades.
- * les effets de radiations solaires de courte longueur d'ondes et les radiations reçues par les surfaces exposées et internes.
- * les radiations de longue longueur d'onde échangées entre les surfaces externes, la voûte céleste et l'environnement bâti.
- * les effets d'humidité.

Par conséquent, il est important que l'architecte sache évaluer sur le plan thermique les dispositifs caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment, l'insertion du bâtiment dans le site et le choix de conception. Il doit par ailleurs prendre en considération chaque détail du bâtiment qui participe aux échanges de celui-ci avec l'environnement.

III-1 Procédure détaillé du modèle informatisé pour l'évaluation de la température intérieure:

En prenant en considération les phénomènes cités plus haut, on a établi un programme de calcul qui évalue la température intérieure plus particulièrement en période chaude. Elle est obtenue à partir du bilan thermique du local. L'ensemble des contraintes thermiques inhérentes à l'environnement extérieur et intérieur, créent des charges variées et multiples, qui influencent suivant leurs importances relatives le bilan thermique et donc la température du local.

Ces charges sont classées en deux catégories essentielles:

1- les charges dues à l'environnement intérieur.

Elles proviennent du dégagement à l'intérieur du local. Essentiellement, elles ont pour origine :

- * les occupants,
- * les machines électriques,
- * l'éclairage

2- les charges dues à l'environnement extérieur :

Elles sont classées en trois catégories :

- * les charges dues aux infiltrations d'air extérieur,
- * les charges dues aux rayonnements solaires,
- * les charges dues aux échanges thermiques à travers les parois extérieures opaques ou vitrées.

III-1-1 Charges dues à l'environnement intérieur:

Elles proviennent des dégagements à l'intérieur du local. Essentiellement elles ont pour origine:

- les occupants
- les machines électriques
- l'éclairage
- les autres appareillages (à gaz ou autres, etc.).

III-1-1-1 Charges dues aux occupants :

Elles peuvent être de deux types: sensible et latente; elles dépendent du type de l'activité des occupants et de la plage de température auquel ils sont soumis. (Porcher G. (1987)

Les valeurs de ces charges sont représentées dans le tableau 1 annexes 4

III-1-1-2 Apports dus aux machines électriques :

Ils dépendent de la puissance électrique absorbée par les machines existantes dans le local. (T.V, fer à repasser, micro-ordinateur, etc.) et de la durée de leurs utilisation.

III-1-1-3 Apports dus à l'éclairage :

On considère que toute l'énergie électrique se transforme intégralement en chaleur dégagé par:

- convection avec l'air ambiant
- rayonnement absorbée par les parois.

Des valeurs en pourcentage sont données dans le tableau 2 annexe 4

V-1-1-4 Autres appareillages :

La présence d'autres appareillages à gaz par exemple, ou l'apport de sources chaudes dans le local, contribuent à élever la température du local et constituent des apports internes.

Ces facteurs sont donnés dans la formule deux.

III-1-2 Charges dues a l'environnement extérieur:

Elles sont plus difficiles à déterminer du fait:

- de la complexité des variations des facteurs climatiques extérieurs
- de l'inertie des parois externes.

Elles sont classées en trois catégories:

- les charges dues aux infiltrations d'air extérieur
- les charges dues au rayonnement solaire à travers les parois vitrées ou les fenêtres.

- les charges dues aux échanges thermiques à travers les parois extérieures opaques ou vitrées.

$$Q = Q_{tr} + Q_{inf} + Q_{ens} = Q_{op} \quad \dots\dots\dots 1$$

Remarque: Les parois des locaux avoisinant peuvent aussi impliquer des apports ou des déperditions thermiques s'ils ont des températures différentes du local considéré.

$$Q_{app.int} = Q_j = \sum K_j S_j (t_j - t_i) \quad \dots\dots\dots 2$$

III-1-2-1 Apports par infiltration :

Cet apport dépend des facteurs suivants:

- la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur
- l'exposition et la pression du vent
- l'importance des ouvertures.

Le calcul des apports par infiltration s'obtient par la formule:

$$Q_{inf} = 0,3.v.r.(t_e - t_i) \text{ Kcal/h} \quad \dots\dots\dots 3$$

avec:

- v: volume du local en m³
- r: coefficient d'infiltration ou de renouvellement d'air

III-1-2-2 Apports à travers les vitres :

Les apports dus aux vitrages sont calculés à partir de la relation suivante:

$$Q_v = Q_{ens} + Q_{Tr} \quad \dots\dots\dots 4$$

d'où: Q_{ens} = apports par ensoleillement en kcal/h

Q_{Tr} = apports par transmission en kcal/h

III-1-2-3 Apports par ensoleillement :

Les apports dus à l'ensoleillement des vitrages sont de loin les plus importants. Ils représentent 40 à 80% des charges totales.

Le phénomène de base qui intervient dans le calcul des apports dus aux vitrages et le rayonnement solaire globale est composé de:

- du flux solaire direct "ID"

- du flux solaire diffus "Id"

ID, Id sont évalués en (kcal/hm²).

L'intensité du flux solaire globale qui atteint une surface vitrée non protégée dépend des facteurs suivants:

- la situation géographique du bâtiment considéré qui est généralement caractérisée par la latitude qui détermine la hauteur du soleil au dessus de l'horizon.
- le moment considéré qui est caractérisé par l'heure et le mois de l'année où l'on veut calculer les apports dus au vitrage.
- l'orientation de la surface vitrée.

ainsi:

$$Q_{ens} = (I_{Gc} \cdot S_s + I_{dc} \cdot S_o) \cdot F \cdot C \quad [\text{kcal/h}] \quad \dots\dots\dots 5$$

d'où:

S_s = surface ensoleillée en (m²)

S_o = surface ombrée en (m²)

C = coefficient de correction qui permet de tenir compte de la diminution du flux dus aux dispositifs de protection solaire

F = coefficient de correction qui dépend du type de la menuiserie.

On a:

F = 0,8 - 0,9 pour la menuiserie en bois

F = 1 pour la menuiserie métallique.

I_{Gc}: est l'intensité du flux global, corrigée à l'heure de calcul considéré. Elle est donnée par la relation suivante:

$$I_{Gc} = I_G \cdot K_1 \cdot K_2 \quad \dots\dots\dots 6$$

avec: I_G = I_D + I_d

I_D = flux direct

I_d = flux diffus

K₁ = coefficient de correction pour tenir compte du climat et de l'altitude

K₂ = coefficient de correction pour tenir compte de l'épaisseur de la vitre.

Les valeurs du coefficient K₁ et K₂ sont données dans le tableau 3 annexes 4.

$$I_{dc} = I_d \cdot K_1 \cdot K_2 \quad \dots\dots\dots 7$$

I_{dc} = est le flux diffus corrigé.

* Calcul du rayonnement direct " I_D "

Un objet situé à la surface de la terre reçoit un flux thermique qu'on peut évaluer par la relation suivante:

$$I_{DN} = I_0 \cdot \tau^m \text{ [kcal/h.m}^2\text{]} \dots\dots\dots 8$$

d'où:

I_{DN} = le rayonnement solaire reçu par une surface limitée placée perpendiculairement à la direction des rayons solaires au niveau de la mer.

I_0 = constante solaire = $1400\text{w/m}^2 = 1200 \text{ kcal/hm}^2$

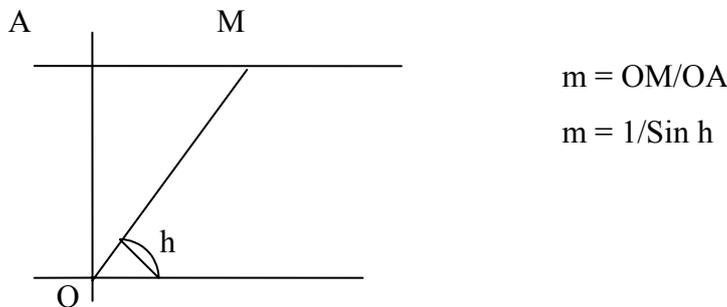
τ^m = coefficient de transparence qui dépend

- des conditions météorologiques
- de la teneur en particule solide et liquide en suspension dans l'atmosphère

$\tau = 0,75$: par temps assez clair et sec au mois de juillet et pour l'altitude proche de zéro (0) mètre.

$\tau = 0,70$: pour les villes côtières à cause de l'augmentation de l'humidité.

m = masse relative définie comme étant le rapport de la largeur du parcours réel au plus cours possible du soleil figure suivante):



OM : parcours réel

OA : parcours le plus court

h : hauteur du soleil qui représente l'angle formé par la direction du rayon solaire avec sa projection sur le plan horizontal.

La hauteur du soleil est donnée par la relation suivante:

$$\text{Sin } h = \text{Sin } \delta \text{ Sin } \phi + \text{Cos } \delta \text{ Cos } \phi \text{ cos } \gamma \dots\dots\dots 9$$

d'où:

ϕ = la latitude du lieu considéré

γ = est l'angle horaire compté à partir de midi.

C'est l'angle à travers lequel la terre doit tourner pour amener le méridien d'un lieu particulier directement au-dessus du soleil (l'angle formé par le plan méridien passant par le centre du soleil et le plan vertical du lieu). voir tableau suivant:

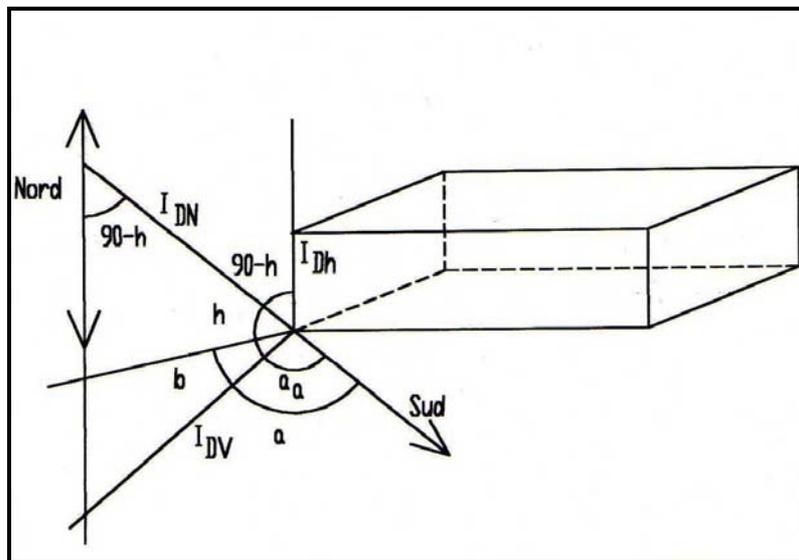
Heure solaire	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
γ	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0	15	30	45	60	75	90

δ = déclinaison du soleil

C'est l'angle de la direction du soleil avec le plan équatoriale de la terre. Il est donné par la relation suivante:

$$\delta = 23,45 \text{ Sin } [(360/365)(N+284)] \dots\dots\dots 10$$

- Flux solaire sur les surfaces verticales et horizontales:



D'après la figure précédente, on peut déduire les expressions de I_{DV} en fonction de I_{DN} . Ainsi, nous avons les relations suivantes:

$$I_{DV} = I_{DN} \cdot \text{Cos } h \cdot \text{Cos } b \quad \text{sur le plan vertical} \dots\dots\dots 11$$

$$I_{Dh} = I_{DN} \cdot \text{Sin } h \quad \text{sur le plan horizontal} \dots\dots\dots 12$$

b: représente l'angle entre la projection horizontale des rayons solaires et la normale pour le plan vertical.

Sa valeur est calculée à partir de la relation suivante:

$$b = a - a_m \dots\dots\dots 13$$

a: représente l'angle entre la direction sud et la projection horizontale des rayons solaires.

Les valeurs de a sont calculées par la relation

$$\sin a = (\cos \delta \sin \gamma) / \cos h \dots\dots\dots 14$$

Remarque:

Vu que la calculatrice donne des valeurs d'arc Sin comprises entre -90° et + 90° or les valeurs de a peuvent dépasser ces limites, pour la correction, on utilise l'algorithme suivant:

```

┌ Si Sin h < Sin δ / Sin φ alors
│   ┌ si a < 0 alors a = -18°
│   │ si non a = -a + 180°
│   └ fin si
└ si non a = a
  fin si
    
```

a_m: est l'angle que fait l'orientation sud avec la normale au plan vertical considéré.

Les valeurs de a_m sont données dans le tableau suivant:

Orientation	N	NO	O	SO	S	SE	E	NE
a _m	180	135	90	45	0	-45	-90	-135

Remarque:

Pour calculer "b" donné par la formule on utilise l'algorithme suivant:

```

┌ Si b ∈ ] -90, 90 [ alors la façade est ensoleillée
│   ┌ Si R = 0 alors Ss = ST et So = 0
│   │ Si non Ss et So = F(Ho + Lo)
│   └ fin si
└ Si non la façade est ombrée
  Ss = Oj Ss = ST
  fin si
    
```

* Calcul des surfaces ombrées et ensoleillées:

Pour calculer des surfaces ensoleillées et ombrées.

avec: $L_o = R \operatorname{tg} b$

$H_o = X \operatorname{tg} h$

et $X = R / \operatorname{Cos} b \Rightarrow H_o = R (\operatorname{tg} H / \operatorname{Cos} b)$

La surface ensoleillée est donnée par:

$$S_s = (H - H_o)(L - L_o) \dots\dots\dots 15$$

La surface ombrée par:

$S_o = S_T - S_s$

III-1-2-4 Apports par transmission:

Les apports par transmission sont calculés à partir de la relation suivante:

$$Q_{tr} = K.S (t_e - t_i) \text{ [kcal/h]} \quad \dots\dots\dots 16$$

Où:

K: coefficient global de transmission de la vitre (kcal/hm² °c)

S: surface totale de la vitre (m²)

t_i: température intérieure du local (°C)

t_e : température extérieure pour l'heure de calcul considérée qui peut être calculée de la manière suivante:

$$t_e = t_B - E \Delta h \quad \dots\dots\dots 17$$

D'où:

t_B: température de base du lieu considéré

E: écart diurne (c'est la différence entre la température maximale à 15 heure et la température minimale à 4 heure) sont données dans le tableau 4 annexes 4.

III-1-2-5 Apports par parois opaques externes :

Le calcul des apports calorifiques par les parois opaques externes des locaux est un problème complexe en raison des facteurs suivants:

- la variation des températures de l'air au cours d'une même journée
- la durée de l'insolation des parois qui dépend essentiellement de leurs expositions.
- de l'inertie thermique des parois.

Les apports calorifiques par parois opaques sont calculés à partir de la relation suivante:

$$Q_{op} = K.S [(t_{eqm} - t_i) + m (t_{eq} - t_{eqm})] \text{ (kcal/h)} \quad \dots\dots\dots 18$$

Avec:

K: coefficient global de transmission pour la paroi considérée

S: la surface de la paroi

m: coefficient d'amortissement

t_{eqm} et t_{eq}: sont données par les relations suivantes:

$$t_{eqm} = t_{em} + A.I_m / \alpha_e \quad \dots\dots\dots 19$$

et

$$t_{eq} = t_e + A.I / \alpha_e \quad \dots\dots\dots 20$$

Avec:

$$t_{em} = t_B - 0,52 E \dots\dots\dots 21$$

I_m : est l'intensité moyenne du rayonnement solaire en fonction de l'orientation en (w/m²).

Les variations de I_m en fonction de l'orientation sont résumées dans le tableau suivant:

Orientation	NE	NO	NE	O	E	S	SO	SE	Horizontale
I_m	38	106	106	151	151	79	127	129	324

A: coefficient d'absorption de la surface extérieure pour le rayonnement solaire. Il est fonction de la couleur de la paroi. Quelques valeurs sont données dans le tableau5 annexe 4.

α_e : coefficient de transfert de chaleur extérieure ($\alpha_e = 20$) [kcal/hm² °c]

t_e : est donnée par la relation 19

I: est l'intensité du rayonnement solaire globale à l'heure (τ -e). Sa valeur peut être calculée.

Le flux thermique extérieur arrive à l'intérieur amorti avec un retard e.

* Méthode de calcul du coefficient d'amortissement:

Le coefficient d'amortissement est donné par la relation suivante:

$$m = (\alpha_i / k) (1 / \sigma) \dots\dots\dots 22$$

σ : est le rapport entre les amplitudes de la variation des températures superficielles du côté extérieur et intérieur, (il permet de quantifier la diminution de l'amplitude de la température à travers la paroi).

Pour une paroi simple " σ " se calcule par la relation suivante:

$$\sigma = 2(0,83 + 3 \Sigma (R_i / D) \dots\dots\dots 23$$

Avec:

R_i : la résistance thermique de la première couche de la paroi.

D: indice d'inertie thermique de la paroi considérée.

- Si la paroi considérée comporte une lame d'air, la valeur de " σ " doit être multipliée par un coefficient de correction noté B1 tel que:

$$B_1 = 0,5.Ra.D / \Sigma R_i \dots\dots\dots 24$$

Avec:

Ra: résistance de la lame d'air

- Dans le cas des murs à couches multiples, la valeur de " σ " doit être multipliée par le coefficient de correction B2

$$B_2 = 0,85 + 0,15(p_2.c_{p2}.\lambda_2)^{1/2} / (p_1.c_{p1}.\lambda_1)^{1/2} \dots\dots\dots 25$$

Dans les expressions des coefficients de correction B1 et B2 , D est donnée par la relation suivante:

$$D = 0,51 \cdot \sum R_i \sqrt{\rho_i \cdot C_{pi} \cdot I_i} \dots\dots\dots 26$$

D'où:

λ_i : conductivité thermique de la première couche de la paroi en (kcal/h.m².°C)

ρ_i : masse volumique de (kg/m³)

C_{pi} : chaleur spécifique de la ième couche de la paroi (kcal/h.m².°C)

Le décalage horaire est donné par la relation:

$$\Sigma = 2,7D - 0,4 \dots\dots\dots 27$$

III-2 Calcul de la température intérieure (t_i) pour la période estivale:

$$\Sigma Q_{app} + \Sigma Q_{dep} = 0$$

$\Sigma Q_{dep} = 0$ absence d'appareils de climatisation donc

$$\Sigma Q_{dep} = 0 \Rightarrow \Sigma Q_{app} = 0 \dots\dots\dots 1$$

des formules 1, 2, 3, 5, 16, 18, 28, 29 et 30

$$Q_{app} = Q_{inf} + Q_v + Q_{op} + \Sigma Q_{pi\ int} + Q_{pl} + Q_{app.int} \dots\dots\dots 2$$

des formules 1, 2 et 3 on aura:

$$Q_{inf} + Q_{ens} + Q_{tr} + Q_{op} + \Sigma Q_{pi\ int} + Q_{pl} + Q_{plf} + Q_{app.int} = 0$$

en développant cette équation la valeur de t_i sera égale:

$$t_i = \frac{(I_{G.c} \cdot S_s + I_{d.c} \cdot S_0) F \cdot C + K_p \cdot S_p \cdot t_{eqm} + K_{pl} \cdot S_{pl} \cdot m(t_{eq} - t_{eqm}) + 0,3v.r.t_e}{0,3v.r + k_p \cdot S_p + K_v \cdot S_v + \sum K_{p.int} S_{p.int} + K_{pl} S_{pl} + K_{plf} S_{plf}} + \frac{K_v \cdot S_v \cdot t_e + \sum K_{p.int} S_{p.int} t_z + Q_{app.int} + K_{pl} S_{pl} t_{inf} + K_{plf} S_{plf} t_{sup}}{0,3v.r + K_p S_p + K_v S_v + \sum K_{p.int} S_{p.int} + K_{pl} S_{PL} + K_{plf} S_{plf}}$$

III-3 Méthodologie de simulation:

Pour réaliser la simulation thermique d'un bâtiment, celui-ci doit être modélisé comme un système thermique, dans lequel les interactions et les échanges thermiques entre éléments puissent être analysés et calculés. Le système est composé des éléments, constituant, le bâtiment (parois, planchers, etc.) dont les caractéristiques géométriques et thermo-physique sont connues,

et des sollicitations variables au cours du temps (conditions climatiques extérieures ou conditions intérieures qui leurs sont appliquées).

En tout état de cause, il doit être procédé à une description adéquate :

- Des caractéristiques morphologiques propres aux constructions (éléments constituant l'enveloppe, leur dimension, leur localisation, etc.).
- Des propriétés thermo-physiques des éléments constructifs (type de parois, la nature du vitrage, le type de protection, etc.).
- Des phénomènes influençant le fonctionnement thermique du bâtiment comme la ventilation naturelle et les charges internes qui doivent être envisagées.
- Les données météorologiques nécessaires à la simulation doivent également être fiables.

Donc, l'objet de la simulation est d'évaluer le degré d'adaptation climatique de l'architecture contemporaine, telle qu'elle a été mis en évidence à travers l'analyse descriptive. (partie II, § I-6-2)

III-3-1 Les paramètres pris en considération:

III-3-1-1 Les paramètres de conception :

Pour concevoir un bâtiment intégré au climat. L'architecte devrait normalement prendre en compte, tous les paramètres qui ont une influence sur la performance thermique du bâtiment. A cet effet, nous avons essayé de tester quelques paramètres et de déterminer leurs influences sur la réponse thermique du bâtiment.

Les paramètres les plus intéressants pour étudier le comportement thermique d'un bâtiment en période chaude sont groupés comme suit:

- * l'inertie thermique
- * le contrôle de l'ensoleillement (l'effet de l'ombre, les rideaux, etc.)
- * le taux de ventilation
- * les apports internes.

a- **L'inertie thermique:** Regroupe les propriétés thermiques des matériaux utilisés, leurs dimensions, etc.

b- **La protection contre l'ensoleillement:** Ce paramètre inclue diverses caractéristiques morphologiques du bâtiment, il sera tenu compte des aspects suivants:

- * orientation
- * masques architecturaux
- * types de protection, etc.

c- **Apports internes:** On devra tenir compte de la chaleur dégagée des différents appareils utilisés, de l'éclairage, ainsi que les apports dus aux occupants.

d- **La ventilation:** Il sera tenu compte de l'effet de la ventilation diurne et de la ventilation nocturne.

III-3-1-2 Les données climatiques :

L'analyse se base sur la comparaison des températures intérieures mesurées et calculées, de ce fait la simulation a été faite pour les conditions d'été pendant la même période des mesures (07 au 17 juillet 2009) et plus précisément pour la journée du 08 juillet 2009 qui représente la situation la plus défavorable pour cette période. Les données météorologiques (température par tranche horaire) ont été collectées au niveau de la station météorologique de Tamanrasset (tableaux 1 et 8, annexe 3), alors que les données énergétiques (intensités d'ensoleillement) ont été tirées de l'Atlas solaire de l'Algérie (tableaux 12, 13 et 14 annexe 1), et calculées suivant le modèle proposé.

Les résultats de l'analyse thermique par simulation sont présentés sous forme de courbes, regroupant les résultats se rapportant aux différentes simulations proposées. Ces graphes sont présentés ici pour appuyer la discussion relative aux résultats obtenus.

Il est très important de rappeler ces observations :

- Le calcul concerne une seule pièce, les apports ne sont pas très importants, ce qui pourrait expliquer la haute sensibilité du modèle de simulation.
- Certains paramètres thermo-physiques utilisés dans le programme de calcul (λ , ρ , coefficient d'absorption, C_p , diffusivité, etc.) ont été tirés de la bibliographie.

- L'intervention du facteur humain (ventilation par aération quand la température extérieure le permet, humidification du sol, etc.) n'a pas été prise en compte par ce modèle.
- Les facteurs climatiques secondaires telle que la vitesse de l'air extérieur, peuvent aussi contribuer à modifier certains coefficients.
- Les apports par les parois internes des deux pièces avoisinantes n'ont pas été pris en comptes (espaces communicants).

III-3-2 Conditions de calcul:

III-3-2-1 Evaluation du comportement thermique du cas d'étude (cas de référence):

Le projet originel tel qu'il a été conçu par l'architecte va servir de "cas de référence". La description de la conception ainsi que les techniques et matériaux de construction sont présentées dans le §II-I-4, la prise en considération des apports internes a été faite dans le but de compléter les données nécessaires pour le calcul.

Les caractéristiques thermo-physiques des matériaux de construction sont :

$$\rho = 1600\text{kg/m}^3 ; C_p = 0,3 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}; \lambda = 1\text{kcal/hm}^\circ\text{C}.$$

Sur la base de la courbe des températures intérieures obtenues par simulation, il a été procédé à une évaluation de la performance thermique, en fonction des heures de la journée du cas d'étude, qui est le cas de référence (cas R). La figure 1 exprime la courbe des températures extérieures (couleur rouge), la température de l'air intérieure calculée par le programme (couleur noire), et la température de l'air intérieure mesurée (points). La figure III-40, a permis de constater les faits suivants:

- L'allure de la courbe des températures intérieures calculées suit celle de la température extérieure avec des écarts qui varient en fonction des heures de la journée.
- A partir de 8,00h, au fur et à mesure que la température extérieure augmente d'environ 1,5 °C/h ; la température intérieure augmente aussi de 0,7°C/h, donc plus lentement.
- De 10,00h jusqu'à 16,00h, la courbe de la température intérieure se situe au dessous de la courbe de la température extérieure qui atteint son maximum à 14,00h.

- A partir de 15,00h, pendant que la température extérieure diminue, la température intérieure continue à augmenter pour atteindre son maximum à 18,00h avec un déphasage égale à 4 heures, ceci s'explique par le retard thermique des parois (inertie).
- Au-delà de 18,00h la température intérieure commence à diminuer d'environ 0,5°C/h pour atteindre son minimum à 24,00h, à cause de l'ouverture des fenêtres, aussi à l'extérieur le thermomètre marque 26°C (valeur minimale).
- Entre 1,00h et 8,00h du matin, la température intérieure est stable, mais elle est supérieure à la valeur de la température extérieure, l'écart est de 2°C.
- Il est à noter également que les écarts des températures intérieures obtenues par le calcul sont plus élevées que celles obtenues par les mesures, et qu'entre 22,00h et 4,00h du matin, les écarts entre les deux courbes s'atténuent progressivement et les températures induites finissent par s'égaliser. La seule justification qu'on puisse donner à ce phénomène, c'est bien l'intervention des usagers par le biais de la ventilation et le refroidissement de l'espace.

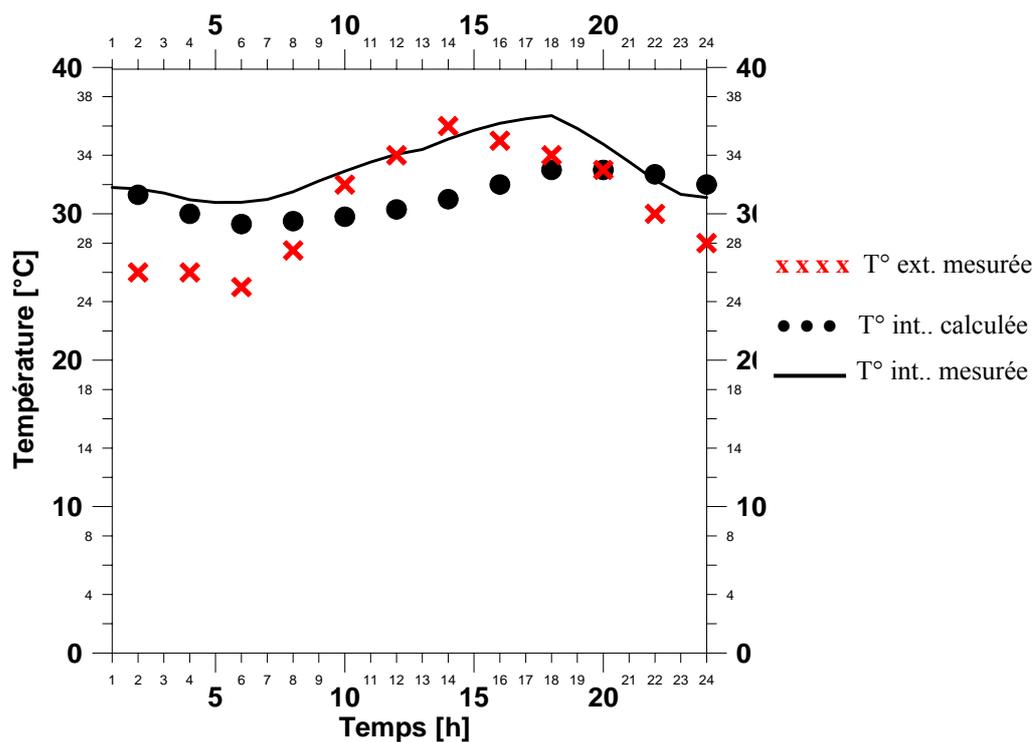


Figure III-40 : Comparaison entre la T° ext. et les T° calculées et mesurées du cas de référence.

Source : auteur, 2012

III-3-2-2 Optimisation du projet pour le cas de Tamanrasset :

Le but de cette série de calcul, est d'évaluer jusqu'à quel point on peut optimiser la performance thermique de l'habitat contemporain. Par conséquent, le dispositif expérimental (cas de référence R) subit une série de variations, telles que, la composition des murs extérieurs et la toiture, la ventilation, le coefficient d'absorption, etc. En utilisant cette méthode, on peut, facilement définir quelles sont les interventions qui s'avèrent les plus performantes et intéressantes, pour améliorer les conditions de confort thermique, ainsi que celles qu'il faut éviter.

a- Les murs extérieurs :

Les calculs dépendent de deux paramètres essentiels: l'épaisseur et les matériaux de construction qui composent les parois. Dans ce cas, trois possibilités ont été prises en considération :

- **Impact de l'isolant:** En maintenant les mêmes matériaux qui composent le mur extérieur, on a essayé de remplacer la lame d'air par un isolant : argile expansée ou schiste expansé dont les caractéristiques thermo-physiques sont les suivantes :

Caractéristiques matériaux	Epaisseur (m)	λ (kcal/hm°C)	Cp (kcal/kg°C)	ρ (kg/m ³)
Parpaing	0,10	0,2	0,3	500
Argile expansé ou schiste expansé	0,05	0,41	0,30	900
parpaing	0,10	0,2	0,3	500

Les résultats obtenus à cet égard, sont mentionnés sur la figure III-41, qui montre l'impact de l'isolant sur la température intérieure. On remarque donc un abaissement d'environ 1°C obtenu entre 15,00h et 19,00h, moment où la température extérieure atteint son maximum.

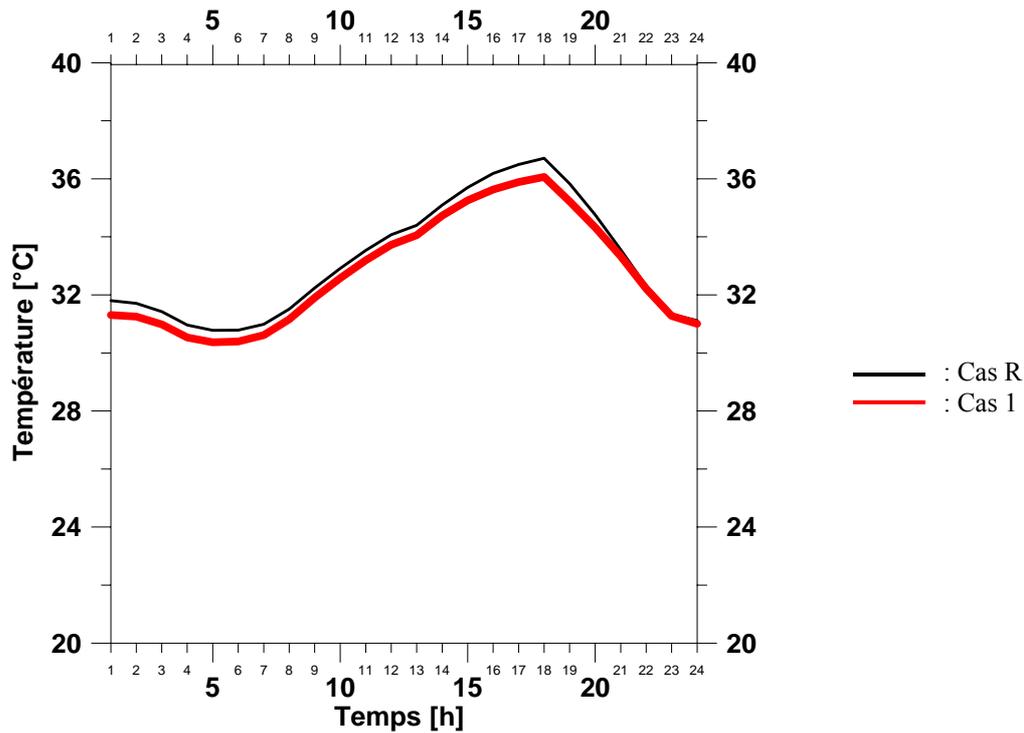


Figure III-41 : Variation de la T° intérieure du local en fonction du type d'isolant.

Source : auteur, 2012

- **Impact des matériaux de construction**: cette opportunité à été saisie pour tester l'effet des matériaux de construction, donc en maintenant le mur extérieur à double parois avec une lame d'air ; on a essayé de changer les matériaux de construction.

Sur la figure III-42, on remarque que les écarts enregistrés sont trop faible et insignifiant. Ce résultat indique que le paramètre considéré a une faible influence sur l'abaissement des températures intérieures, et que la lame d'air a un effet considérable sur le transfert de chaleur.

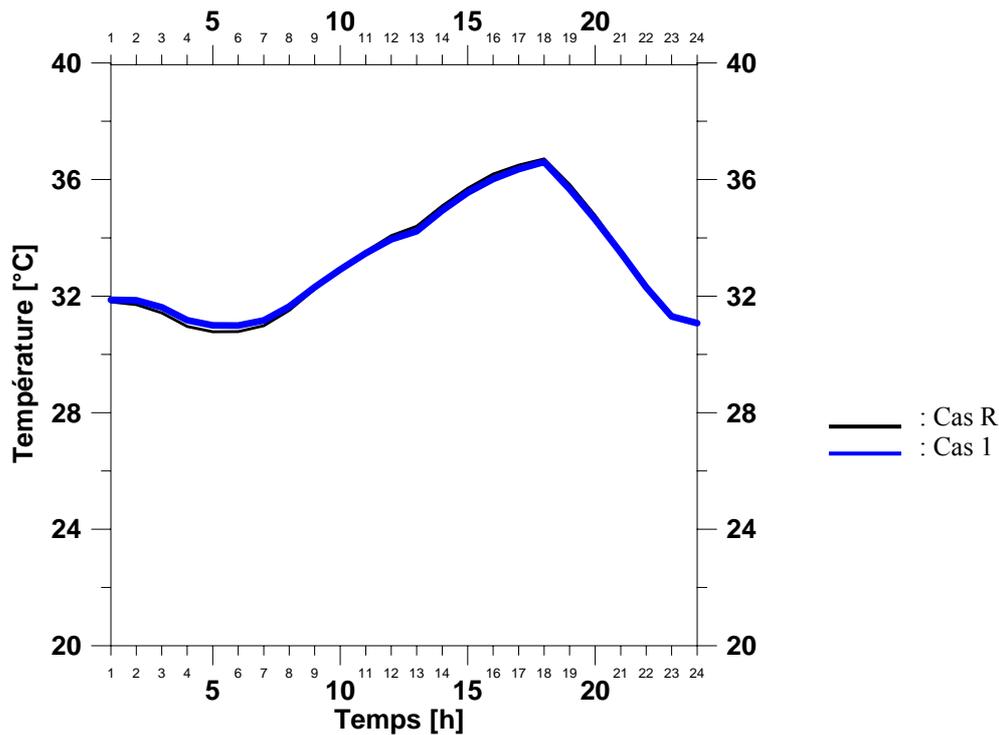


Figure III-42 : Effet des matériaux de construction sur la température intérieure du local.

Source : auteur, 2012

- **Impact de l'inertie thermique (parois simple)**: on a considéré le cas où le mur extérieur serait à parois simple en parpaing, avec les caractéristiques thermo-physiques suivantes :

Epaisseur (m) = 0,10 ; ρ (kg/m³) = 500 ; λ (kcal/hm°C) = 0,2 ; Cp (kcal/kg°C) = 0,3

L'analyse comparative des résultats obtenus figure III-43 a montré qu'entre 1,00h et 9,00h un abaissement de température intérieure d'environ 1,5°C vis-à-vis du cas de référence, cela s'explique d'une part par la faible inertie thermique, et d'autre part, le manque du facteur isolant qui amortissent le transfert du flux de chaleur se déplaçant la nuit de l'intérieur vers l'extérieur.

Par contre de 10,00h jusqu'à 20,00h (heures chaudes), la situation s'est inversée, car la température intérieure a connu une augmentation d'environ 1,5°C, ce type de parois restitue rapidement la chaleur vers l'intérieur, de ce fait, un intérêt particulier doit être porté à sa protection.

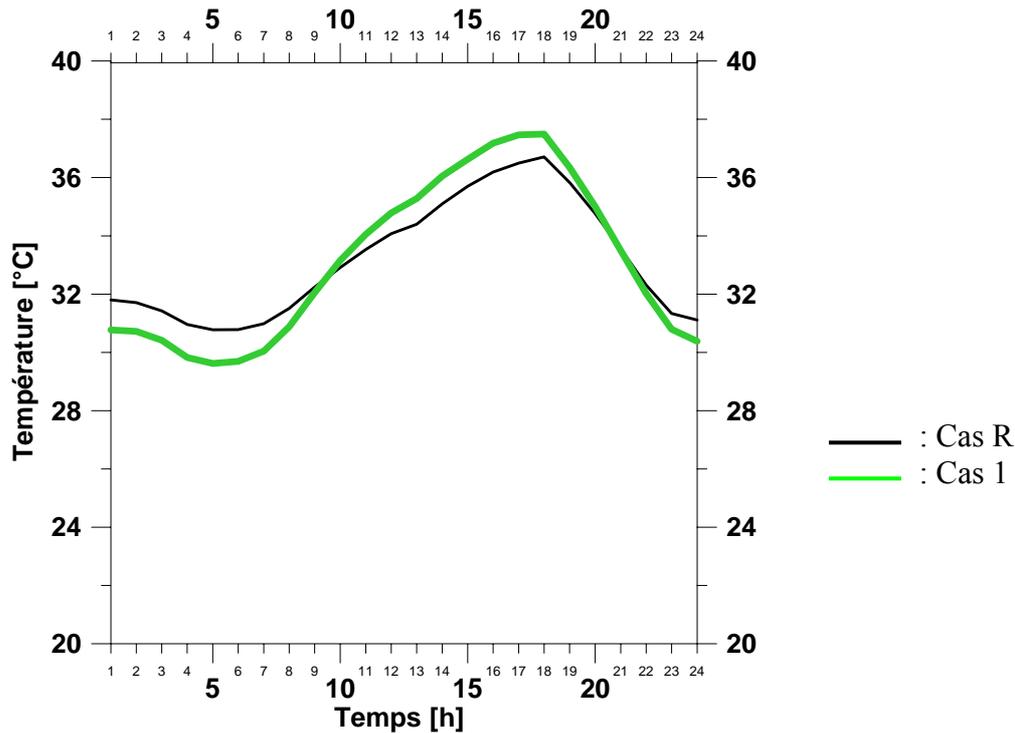


Figure III-43 : Variation de la T° int. du local en fonction du type de parois.
Source : auteur, 2012

b- La toiture :

D'après l'analyse climatique, les surfaces horizontales (la toiture) reçoivent le plus d'énergie solaire que les murs, le calcul dépend donc de l'emplacement et le type de matériaux isolants.

- Impact de l'épaisseur de l'isolant: en maintenant la toiture telle qu'elle a été proposée par l'architecte, on a essayé d'agir sur l'épaisseur de l'isolant qui est placé à l'intérieur, deux cas sont considérés :

Cas 1 : une couche d'isolant en polystyrène de 2cm d'épaisseur,

Cas 2 : une couche d'isolant en polystyrène de 5cm d'épaisseur,

dont les caractéristiques thermo-physiques sont :

ρ (kg/m³) = 32 ; λ (kcal/hm°C) = 0,035; Cp (kcal/kg°C) = 0,38.

Les résultats de la simulation présentés dans la figure III-44 montrent l'effet de l'isolation de la toiture sur l'ambiance intérieure.

En effet, en comparant les courbes se rapportant au deux cas simulé (cas 1 et cas 2) et la courbe du cas de référence (cas R), on remarque que, pendant la tranche horaire 1,00h jusqu'à 7,00h du matin, la température du cas R est inférieure au cas 1 et cas 2, à cause du rafraîchissement par rayonnement nocturne.

De 7,00h jusqu'à 12,00h, l'écart entre les trois courbes diminue jusqu'à ce qu'elles se confondent.

Au-delà de 12,00h jusqu'à 21,00h la courbe rouge qui représente l'épaisseur 5cm connaît un abaissement de 3°C par rapport au cas R ; contre un abaissement 1°C quand l'épaisseur égale à 2cm (courbe violet) ; et qu'entre 11,00h jusqu'à 20,00h la température intérieure reste constante. Ce résultat confirme l'influence du paramètre considéré sur la température intérieure.

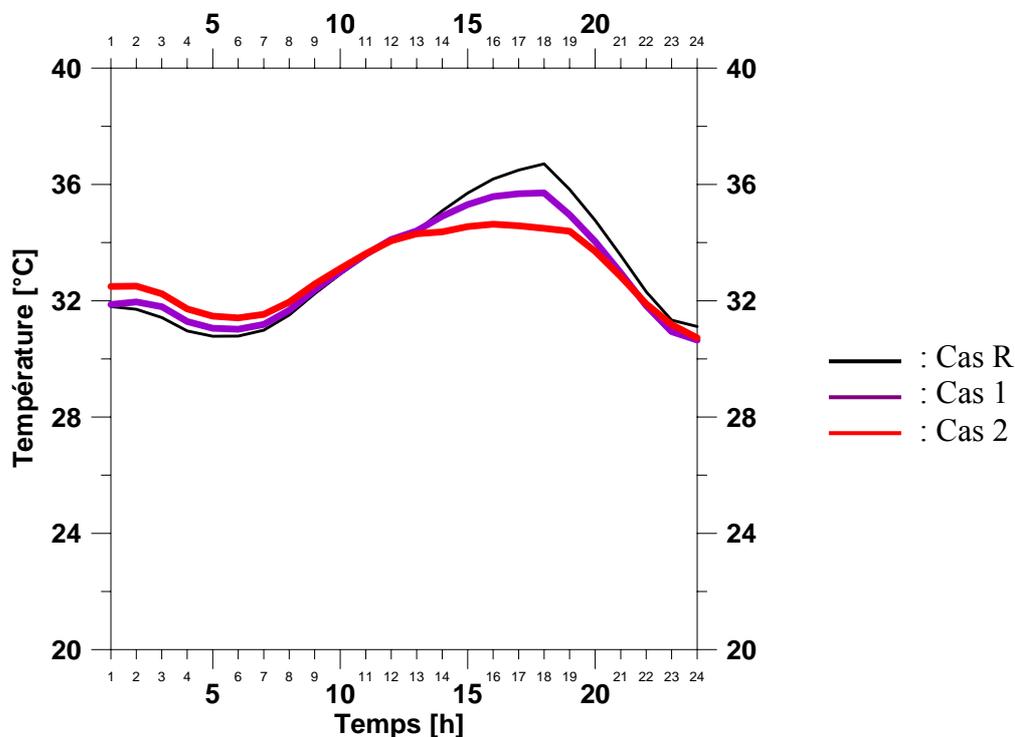


Figure III-44 : Variation de la T° int. du local pour différentes épaisseurs de l'isolant.

Source : auteur, 2012

- **Impact du type d'isolant** : en maintenant toujours la même toiture, nous avons essayé de l'isoler de l'intérieur, deux types de matériaux isolant sont proposés :

Cas 1 : un isolant en polystyrène de 5cm d'épaisseur,

Cas 2 : un isolant en panneaux de bois de 5cm d'épaisseur, les caractéristiques sont les suivantes :

ρ (kg/m³) = 250 ; λ (kcal/hm°C) = 0,058 ; Cp (kcal/kg°C) = 0,6.

Suite à l'analyse du graphe correspondant à la figure III-45, la comparaison des courbes des deux cas proposés (cas 1 et cas 2) avec celle du cas de référence (cas R), les remarques suivantes ont pu être formulées :

De 10,00h jusqu'à 13,00h l'écart entre les trois courbes est nul, donc elles sont confondues.

Le matin de 1,00h jusqu'à 10,00h le cas R connaît un abaissement de l'ordre de 1°C par rapport au cas 1 et cas 2, à cause du manque d'isolation, du fait qu'une paroi sous l'effet du rayonnement nocturne se refroidie rapidement.

De 13,00h jusqu'à 22,00h au fur et à mesure que la température extérieure augmente, la température intérieure du cas R augmente aussi, tandis que la température des deux cas simulés reste constante, l'écart entre les trois courbes s'amplifie et atteint son maximum. On note donc un écart de 3°C dans le cas d'un isolant en polystyrène (courbe rouge) et un écart de 4°C dans le cas de l'isolant en panneaux de bois (courbe marron). Dans ce cas, on remarque l'importante influence du type d'isolant sur l'ambiance intérieure, et que l'isolation en panneaux de bois est plus efficace.

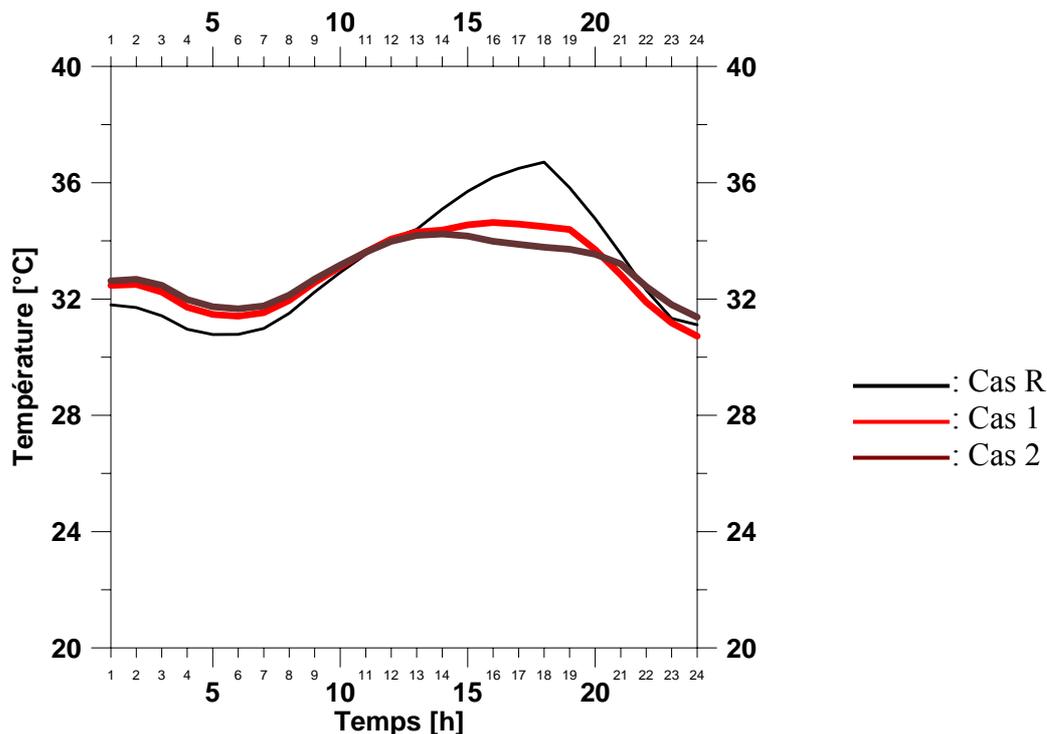


Figure III-45 : Variation de la T° intérieure du local pour différents types d'isolants.

Source : auteur, 2012

c- Influence des apports intérieurs :

Dans ce cas les calculs sont basés sur la suppression des apports intérieurs ; donc :
 Q (machines, éclairage, personnes) = 0.

La première constatation déduite après l'analyse de la figure III-46 c'est que, l'absence des charges internes a une influence sur la diminution de la température intérieure. En effet, les résultats obtenus ont marqués un abaissement de la température du local simulé (cas 1) d'environ 3°C (courbe bleue) vis-à-vis du cas de référence. Cet effet est perceptible aussi durant les 24 heures.

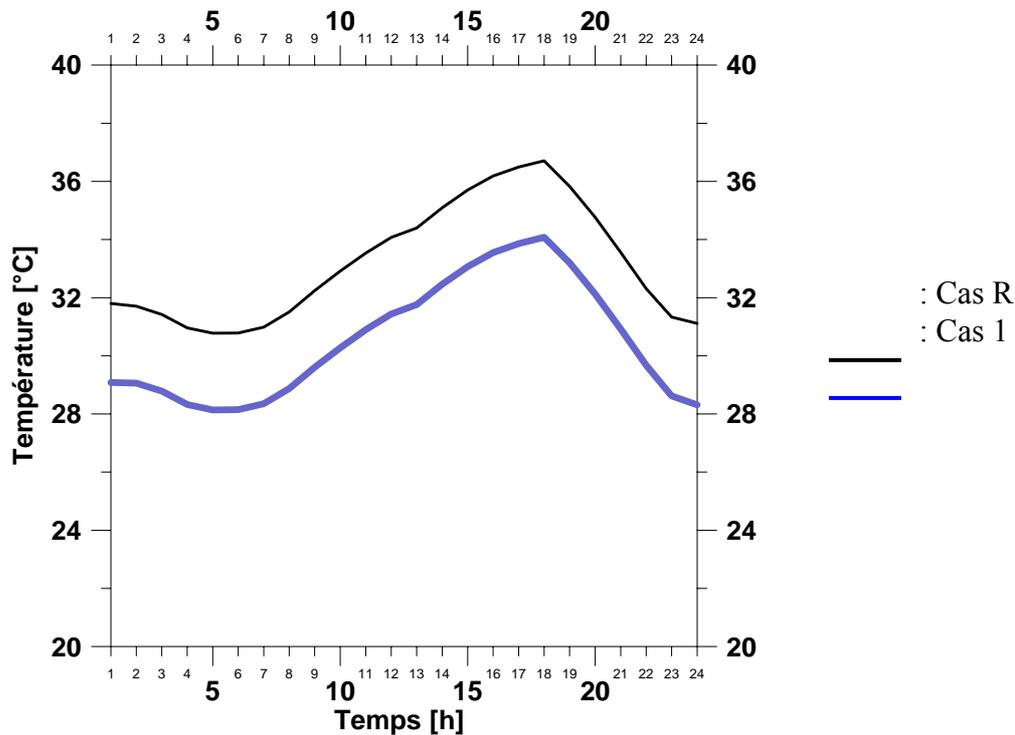


Figure III-46 : Influence des charges internes sur la T° intérieure du local.

Source : auteur, 2012

d- Effet du coefficient d'absorption :

Le choix d'une couleur claire permet de diminuer le coefficient d'absorption; dans ce cas
 $A_a = 0,05$.

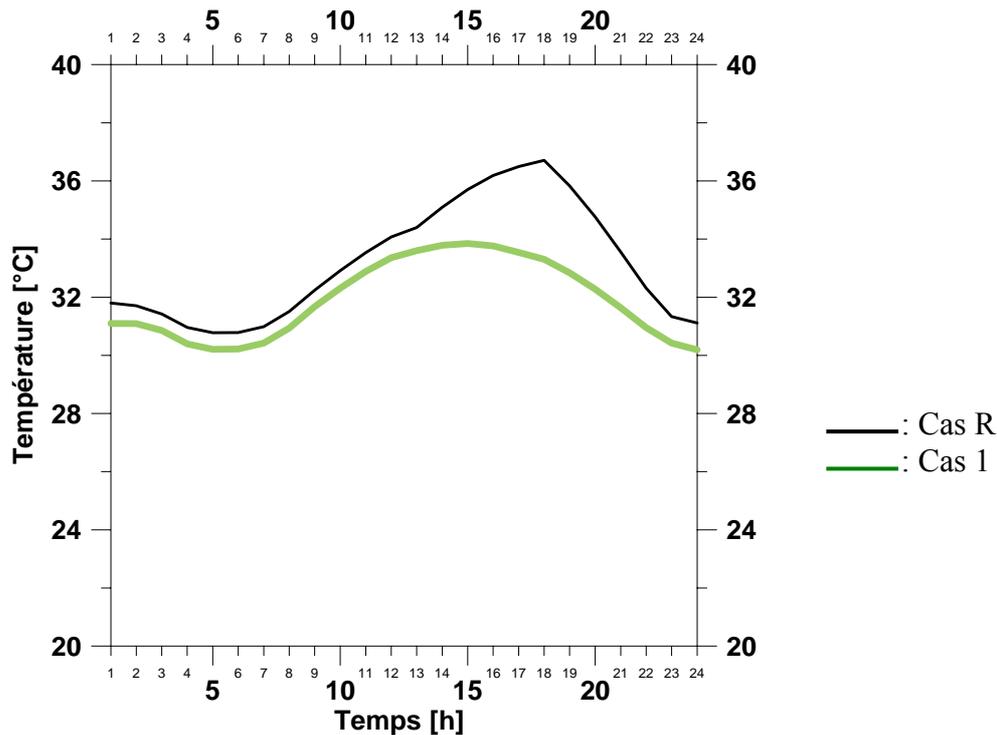


Figure III-47 : Influence de la couleur de la toiture sur la T° intérieure du local.

Source : auteur, 2012

L'influence de ce facteur sur la température intérieure est perceptible au niveau de la figure III-47. Donc, en diminuant le coefficient d'absorption, la température intérieure calculée connaît un abaissement durant les 24 heures (courbe verte), mais les valeurs dépendent de tranches horaires.

En effet, de 23,00h jusqu'à 13,00h, l'écart entre les deux courbes est moins important, il est égale à 1°C.

Par contre de 13,00h jusqu'à 22,00h, l'écart devient plus important, il est de l'ordre de 4°C.

e- Effet de la ventilation :

Les calculs sont basés sur la possibilité d'un taux de ventilation fixe pendant toute la journée. Deux cas ont été simulés :

Cas 1 : taux de ventilation $rr = 1$ volume/heure,

Cas 2 : taux de ventilation $rr = 5$ volume/heure,

Pour le cas de référence $rr = 0,1$ volume/heure.

En comparant les courbes se rapportant au deux cas étudiés (figure III-48), on a remarqué l'influence de la ventilation, sur l'abaissement des températures intérieures suivant le taux de ventilation appliqué. Ainsi les résultats obtenus montrent les faits suivants :

De 10,00h jusqu'à 24,00h, un abaissement de la température intérieure minimale égale à 0,5°C dans le cas 1 où le du taux de ventilation fixe égale à 1v/h (courbe orange) contre 1,5°C dans le cas 2 où le taux égale à 5v/h (courbe bleue).

A partir de 1,00h jusqu'à 10,00h, l'abaissement de la température intérieure est maximale ; égale à 1°C dans le cas 1 contre 2,5°C dans le cas 2.

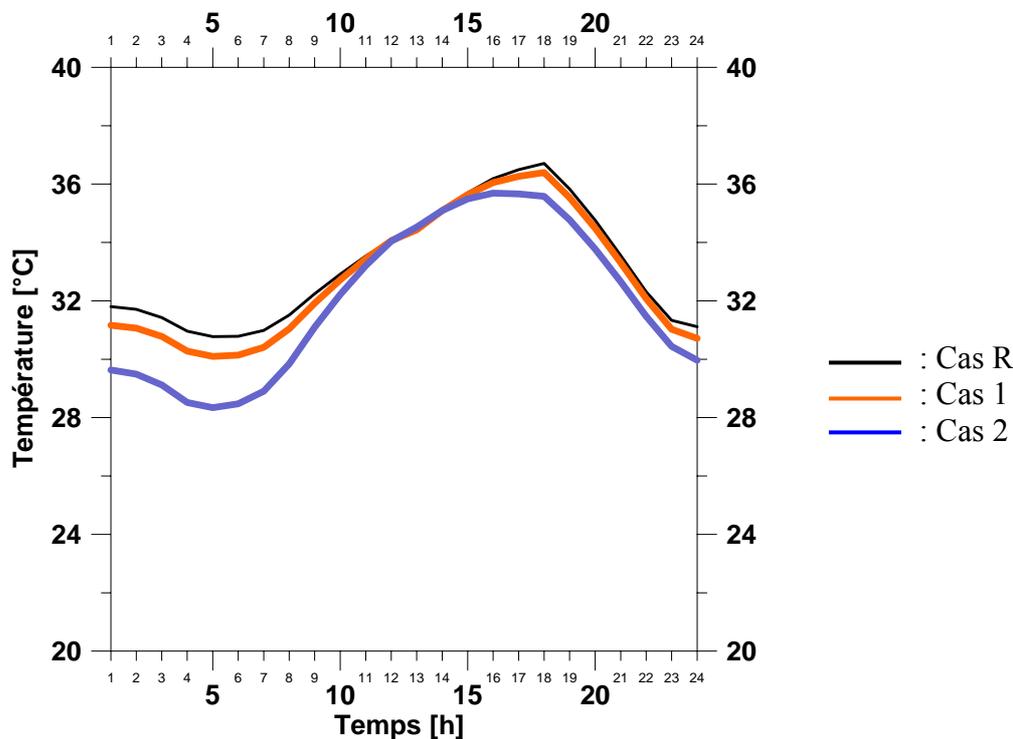


Figure III-48 : Influence du taux de ventilation sur la T° intérieure du local.

Source : auteur, 2012

Sous l'effet de la ventilation, les ambiances profitent du rafraîchissement; quand le taux augmente, la température intérieure baisse surtout le soir sous l'effet de la ventilation par le biais des fenêtres ouvertes et le rayonnement nocturne (rafraîchissement des structures).

f- Influence d'une source froide :

En appliquant une source de froid de 500kcal/h (climatiseur ou un moyen d'humidification), le résultat de cette manipulation est montré dans la figure III-49. L'influence de ce paramètre est très importante, elle est perceptible durant les 24 heures. On remarque un abaissement de la température intérieure du local simulé (cas 1), cette diminution égale à 5°C vis-à-vis du cas de référence.

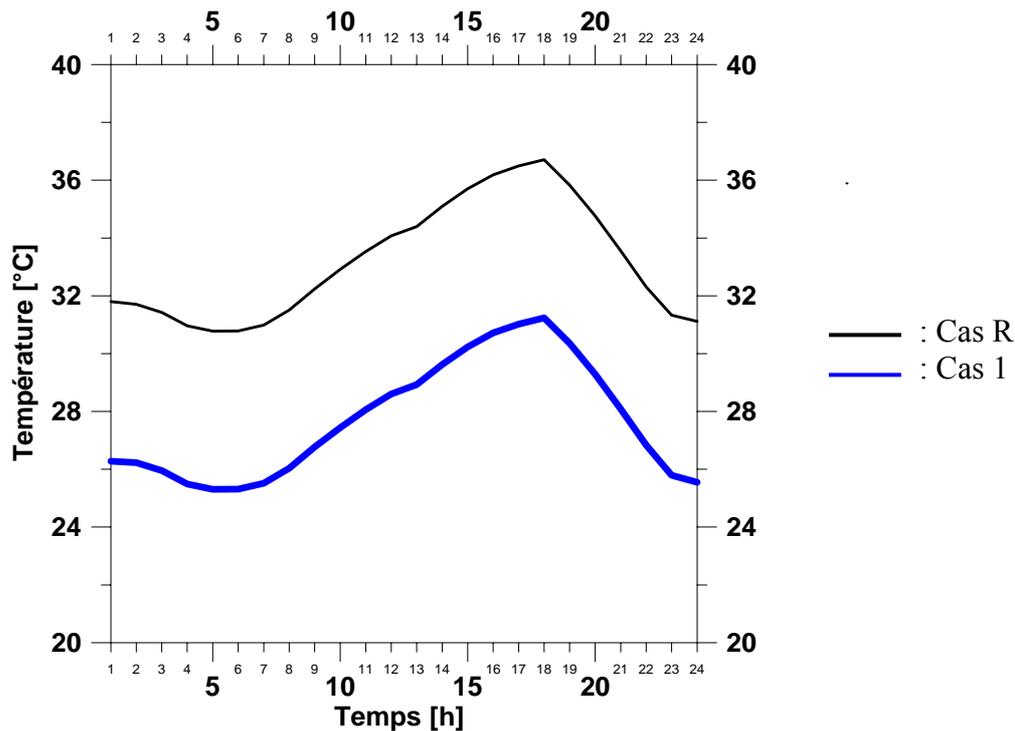


Figure III-49 : Effet d'une source froide sur la T° intérieure du local
Source : auteur, 2012

III-3-3 Le cas optimal:

Suite aux résultats des précédentes simulations testant l'influence des différents facteurs pris isolément, une amélioration des conditions de confort est proposée. Pour une meilleure appréciation des résultats obtenus avec cette approche; on a repéré les variantes optimales qu'il était possible de réunir, pour voir l'effet d'amélioration apporté par les conditions réunies, par rapport au modèle étudié.

Comme pour les cas précédents, cet effet d'amélioration sera mesuré au moyen, d'un écart de température correspondant en général à une diminution de la température intérieure.

Les cas simulés sont de nombre de deux :

1^{er} cas :

Mur extérieur :

- Même composition du cas de référence.
- Couche de plâtre dont les caractéristiques sont :
 ρ (kg/m³) = 1300 ; λ (kcal/hm°C) = 0,5 ; Cp (kcal/kg°C) = 0,3; ep = 2cm.

Toiture :

- Même composition de la toiture du cas de référence.
- Une isolation intérieure en panneau de bois de 2cm d'épaisseur
- Un coefficient d'absorption extérieure égale à 0,1 (couleur claire).

2^{ème} cas :

- Mêmes éléments du mur et de la toiture du 1^{er} cas.
- Taux de ventilation rr = 5v/h
-

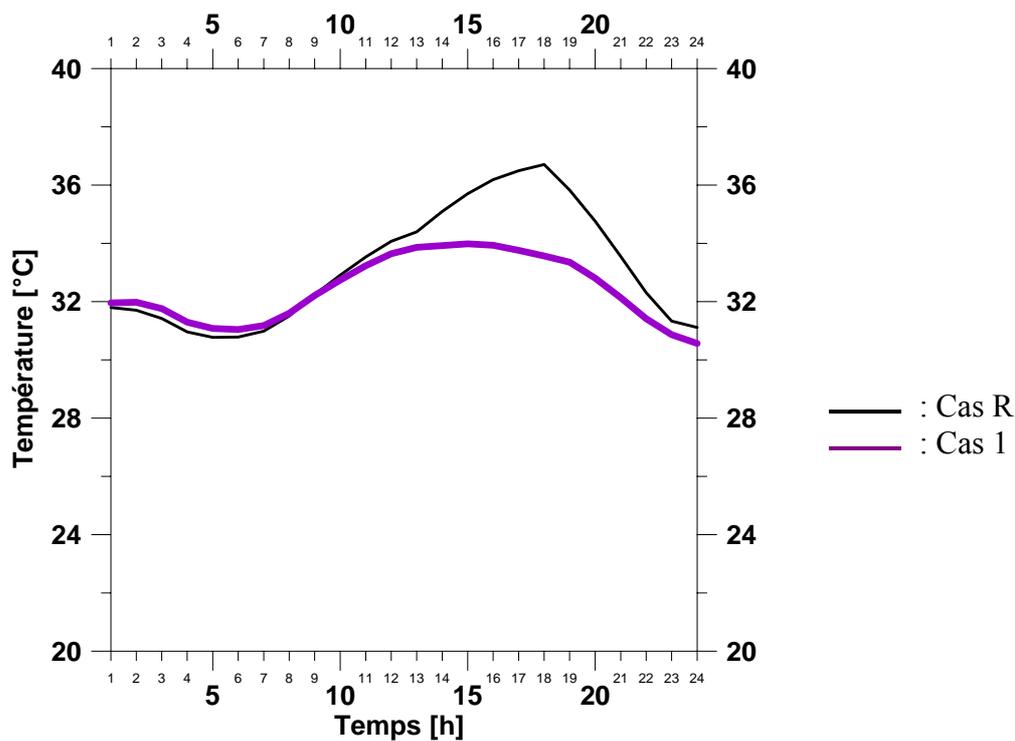


Figure III-50 : Comparaison entre le cas étudié et le cas proposé après amélioration.

Source : auteur, 2012

Le résultat de calcul du 1^{er} cas est présenté sur la figure III-50 elle nous a permis de formuler les remarques suivantes :

De 11,00 jusqu'à 19,00h, la température du cas de référence (cas R) augmente rapidement, sa valeur égale à $0,7^{\circ}\text{C}/\text{h}$ (couleur noire), tandis que la température intérieure du cas 1 reste presque constante (couleur violet).

Au-delà de 19,00h, les valeurs des deux températures intérieures diminuent pour atteindre leurs minimums à 24,00h, l'écart enregistré entre les deux courbes est de 1°C en faveur du cas amélioré (cas 1).

De 1,00h jusqu'à 11,00h, l'écart devient insignifiant, ce qui a engendré la superposition des deux courbes.

Ce qu'on doit retenir dans ce cas c'est bien l'abaissement de la température intérieure du cas amélioré de 4°C par rapport au cas de référence.

La figure III-51 représente le résultat de simulation du 2^{ème} cas. La principale constatation déduite suite à l'analyse de cette figure est : les températures intérieures du cas amélioré (cas 2, couleur verte) sont inférieures par rapport aux températures intérieures du cas de référence (cas R, couleur noire). La différence enregistrée varie en fonction des heures de la journée.

Pendant la matinée, de 1,00h jusqu'à 7,00h, la température intérieure du cas amélioré (cas 1) marque un abaissement d'environ 3°C .

A partir de 7,00h jusqu'à 12,00h, pendant que la température extérieure augmente, les deux températures intérieures augmentent aussi, avec un écart en faveur du cas 2.

Entre 12,00h et 13,00h, l'écart devient nul, ce qui justifie la superposition des deux courbes. Dans ce cas, la température du cas 1 atteint son maximum, et commence à baisser pour atteindre son minimum à 24,00h.

Par contre, la température du cas R continue à augmenter rapidement, son maximum est enregistré à 18,00h, puis elle commence à diminuer pour atteindre son minimum à 24,00h.

Rappelons que, pendant cette tranche horaire, la température du cas 2 marque un abaissement qui varie entre 2°C et 3°C par rapport au cas R.

Au regard des résultats obtenus jusqu'à présent on peut dire que, l'effet conjugué des facteurs traités précédemment tels que, l'isolation de la toiture et le faible coefficient d'absorption etc. ont permis un abaissement très important pendant une tranche horaire bien définie. Mais, les améliorations sont encore plus marquées avec l'augmentation du taux de

renouvellement d'air par heure, ce qui a engendré un abaissement de la température intérieure durant les 24 heures d'environ 2°C à 3°C.

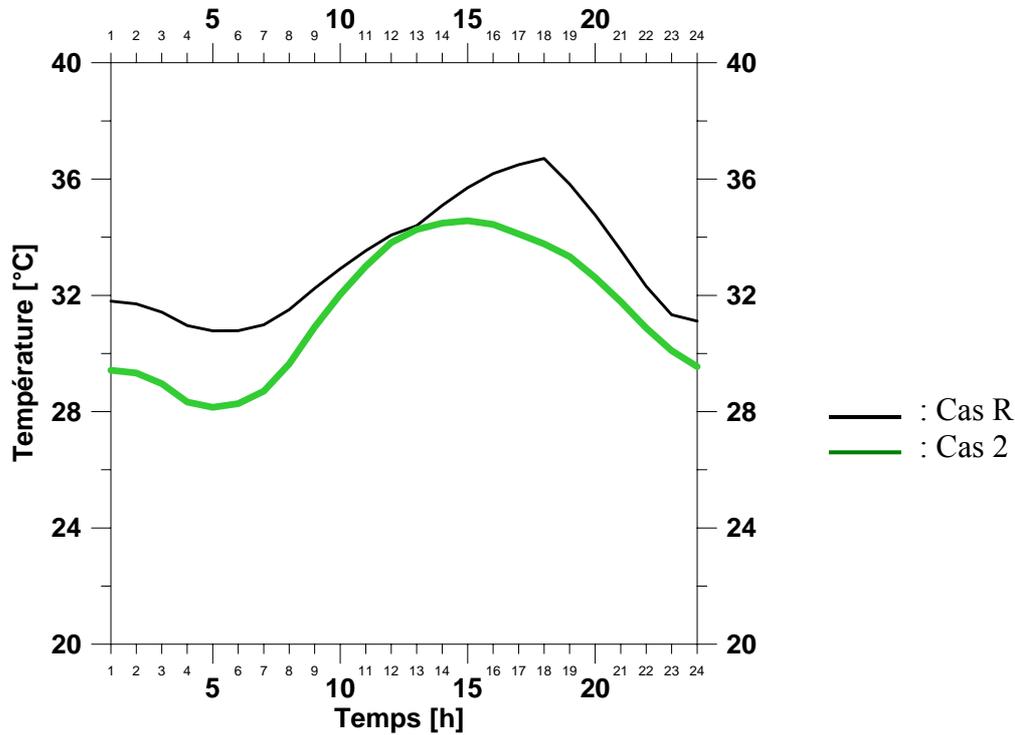


Figure III-51 : Comparaison entre le cas étudié et le cas proposé en ajoutant un taux de ventilation.

Source : auteur, 2012

Conclusion :

A la fin de cette analyse thermique par simulation, et dans le but de confirmer, ou le cas échéant infirmer ce qui a été établi empiriquement au niveau des phases précédentes afin de proposer des améliorations, nous avons utilisé un programme de calcul informatique pour simuler le comportement thermique du cas étudié en période chaude.

La première série de calcul a été utilisée dans le but d'évaluer le comportement thermique du cas d'étude, qui est utilisé comme cas de référence, puis d'évaluer les possibilités de son amélioration.

Les résultats obtenus à cet égard confirment la mauvaise intégration climatique du type d'habitat étudié, car la valeur de la température intérieure calculée est comprise entre 31°C et 37°C, selon les résultats de l'analyse bioclimatique qui a permis l'établissement des tables de

Mahonney et le diagramme psychrométrique de la ville de Tamanrasset, les conditions de confort ne sont pas atteintes pour ce type d'habitat pendant les deux périodes (diurne et nocturne).

A ce titre, les alternatives d'amélioration qui furent envisagées ont concerné plusieurs critères (les matériaux de construction, ventilation, isolation, etc.). Les résultats obtenus à cet égard et mesurés en écart de températures par rapport au cas de référence étaient dans certains cas intéressants et dans d'autres cas négligeables.

Après avoir introduit les différents facteurs d'amélioration (cas optimal). Leurs effet est ressenti durant les 24 heures, un abaissement maximum de la température ambiante de l'ordre de 4°C a pu être réalisé, engendrant ainsi une température intérieure comprise entre 28°C et 34°C.

Cependant, malgré ces valeurs, les conditions de confort acceptables ne sont atteintes que pendant une faible tranche horaire.

En effet, entre 1,00h jusqu'à 7,00h du matin, les températures intérieures sont comprises entre 28°C et 29°C, donc elles se trouvent dans la zone de confort, mais proche de la limite supérieure avec un écart égale à 1°C.

Ce qui suppose, dans le cas d'une amélioration du microclimat, des dispositions d'insertion du bâtiment dans le site, le choix de conception adéquat, ainsi que des caractéristiques morphologiques des bâtiments, une ambiance confortable sera probablement réalisée plus facilement et avec une consommation d'énergie moindre.

Conclusion de la partie 3 :

Cette partie a défini le cadre précis de l'étude, pour arriver à des résultats plus concrets, le recours à une investigation était indispensable. Cette approche a englobé différentes méthodes utilisées dans ce domaine.

Le premier chapitre s'est basé sur une étude expérimentale qui nous a permis de vérifier et de confirmer que les matériaux locaux utilisés dans la construction traditionnelle à Tamanrasset présentent des caractéristiques thermo physiques (conductivité et diffusivité) excellentes, donc, ces qualités leurs permettent de transmettre l'onde de chaleur, avec un amortissement important de plusieurs heures plus tard quand la température extérieure aura chuté.

Par contre, les matériaux modernes employés dans l'enveloppe de l'habitat contemporain expriment la mauvaise qualité thermo physique.

Pour déterminer la performance thermique des constructions à Tamanrasset, la méthode des mesures de la température et de l'humidité relative à l'intérieur d'un type de construction traditionnelle et un autre contemporain a été appliquée

Il ressort de cette étude expérimentale, suite à la comparaison des résultats obtenus des paramètres étudiés à l'intérieur des logements investigués, l'existence des écarts positifs et négatifs.

En effet, les résultats des mesures effectuées pendant la période froide indique une amplitude de la température dans l'habitat contemporain égale à 5°C, qui est supérieure à celle de l'habitat traditionnel égale à 1,5°C. Donc, le confort est atteint dans l'habitat contemporain pendant la tranche horaire comprise entre 14 :00heures et 00 :00heures, cette caractéristique est obtenue grâce, d'une part à la faible inertie thermique de l'enveloppe construite par des matériaux modernes, et d'autre part, à la chaleur transmise à travers le vitrage simple de la fenêtre.

Par contre, la température à l'intérieur de l'habitat traditionnel se trouve au dessous des limites de la zone de confort, ce qui justifie le nomadisme journalier vers la cour pendant le jour, pour profiter du rayonnement solaire.

En ce qui concerne la période chaude qui est longue et rude, nous remarquons que la température intérieure de H.C. suit l'évolution de la température extérieure. Elle enregistre une amplitude de 4°C, avec une augmentation d'environ 0,5°C par heure avec une humidité relative qui atteint son maximum pendant la nuit. Nous pouvons dire que le local testé subit directement les fluctuations de la température extérieure, ce qui justifie la position des valeurs de sa température en dehors de la zone de confort, c'est-à-dire au dessus des limites supérieures, d'une valeur maximale égale à 4°C et minimale de 1°C.

Par contre dans le cas de l'habitat traditionnel, lorsque les amplitudes des températures extérieures sont grandes, celles de l'intérieures restent réduites, avec une fluctuation égale à 2°C, c'est-à-dire, la moitié de celle de l'habitat contemporain avec une augmentation de 0,3°C par heure, et l'humidité relative est supérieure par rapport à celle de l'habitat contemporain.

Ceci conduit à dire que la diminution ou l'augmentation des températures extérieures n'a pas une conséquence directe sur la température intérieure. Cette dernière évolue de façon très uniforme et régulière malgré l'amplitude de la température extérieure qui est égale à 12°C, ce qui est confirmé par sa position à l'intérieure de la zone de confort pendant une bonne période de la journée.

Dans ce contexte l'habitat contemporain éprouve une forte hausse de sa température intérieure que celle de l'habitat traditionnel.

En effet, l'augmentation des valeurs de la température et la diminution de l'humidité relative dans les cités contemporaines, s'explique par le cachet spécifique de ce type, qui n'a pas été pensé pour atteindre l'objectif de la protection contre la chaleur.

Donc, la multiplication des surfaces minérales due à l'extension de la ville et à sa morphologie urbaine (rues, trottoirs, parkings et constructions) entraîne des surchauffes locales, car le comportement des matériaux de construction par rapport au rayonnement solaire joue un rôle déterminant dans le confort, aussi bien, des espaces intérieurs qu'extérieurs, en tant que surfaces réceptrices et émettrices d'énergie par réflexion et par diffusion.

La forme, la taille de la parcelle, l'orientation et l'échelle du bâtiment de l'architecture contemporaine sont aussi, des éléments déterminant sur l'influence de la température intérieure.

En ce qui concerne l'habitat traditionnel qui, présente un certain niveau de confort thermique malgré la rigueur du climat de Tamanrasset, cela est dû au critère fondamental qui est la protection contre la chaleur. Cette atténuation des effets climatiques, dont la valeur est liée à la morphologie urbaine et architecturale.

En effet, la composition compacte des ilots, favorise d'une part la production d'ombres et diminue les surfaces minérales, d'autre part, elle diminue les façades exposées au soleil et fournit des avantages pour le contrôle des transferts de chaleur.

L'organisation introverti de l'espace habité protège à son tour l'habitation, des insulations et assure une régulation thermique par le biais de la cour. Les matériaux qui composent les parois extérieures (verticales et horizontales) de la l'habitat traditionnel d'origine local, contribuent par leurs haute qualité thermo physique à accroître le confort thermique, et font de ce type d'habitat une parfaite leçon d'intégration en milieu aride.

Enfin, la dernière étape de cette recherche est une simulation. Dans ce contexte, un programme a été utilisé pour évaluer la performance thermique de l'H.C. pendant la période chaude.

Les résultats obtenus ont confirmé la faible résistance thermique aux sollicitations extérieures. De ce fait, des alternatives d'amélioration qui ont été envisagé ont permis de sélectionner les critères les plus intéressants, ces derniers ont été appliqués sur le cas optimal. Un abaissement de la température ambiante égale à 4°C est enregistré durant les 24 heures.

Malgré ce résultat, le confort envisagé n'est pas atteint, mais, il sera réalisé en améliorant la morphologie du bâtiment, sa conception ainsi que son environnement.

Donc, La production architecturale des édifices ayant une performance correcte vis-à-vis des aspects énergétiques montre que la problématique énergétique doit être intégrée très tôt dans le processus de conception. Car, l'intégration climatique est une alternative prometteuse au développement durable. Compte tenu des grandes économies d'énergies qu'elle peut assurer et de la qualité urbaine et confort thermique qu'elle peut offrir aux citoyens, à travers une conception urbaine et architecturale appropriée.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

1- Conclusion :

Tout bâtiment s'inscrit dans un environnement avec lequel il interagit et entretient un ensemble plus ou moins harmonieux de relation. La prise en compte du climat se place au cœur de ce dialogue entre l'architecture et son environnement, dans un souci de création d'espace de vie qui sera confortable et vivable.

"Le confort hygrothermique est une exigence en tant que telle, des systèmes passifs doivent être utilisés en priorité, avant de songer à des installations énergivores" (Bozonnet, E. et al, 2006).

Malheureusement, la climatisation tend à se banaliser dans les constructions contemporaines, cette évolution est due d'une part, au développement de mode architectural (atriums, grandes façades vitrées, etc.) génératrice de surchauffe dès la mi-saison, et d'autre part, à une demande de confort de la part des usagers. Sergio, L. affirme que "Les moyens ont fait oublier la fin, et l'homme a perdu les capacités d'autorégulation et d'adaptation". (Sergio, L. 1980)

Le recours à la climatisation est une solution qui ne traite que les symptômes, sans s'attaquer aux causes, et avec un traitement à la fois coûteux et écologiquement aberrant.

Mais le pire, reste le coût écologique et l'absurdité d'une solution qui, si elle résout le problème ponctuellement, l'aggrave à long terme, puisqu'elle augmente la consommation d'énergie (dont les réserves sont limitées), accroît l'effet de serre, les polluants et donc le réchauffement du climat.

Quand on examine les questions d'énergies, la situation actuelle est déjà inquiétante. L'environnement bâti est aujourd'hui responsable de 50% de l'énergie consommée. Il est donc le premier consommateur d'énergie (Bornavel, A. 2008), de même en Algérie, la part la plus importante de la consommation énergétique, revient au secteur résidentiel, qui atteint en 2011 la valeur de 20Mtep (CDER 2012). Pour le cas de Tamanrasset, la quantité de consommation énergétique a doublé pendant les quatre dernières années, sa valeur est de 8622x104 kwh pour le secteur résidentiel uniquement. (SONELGAZ Tamanrasset 2010)

Cependant, il ne s'agit pas de sacrifier la qualité architecturale au profit de la seule composante énergétique, mais bien de trouver un équilibre satisfaisant entre les différents critères.

En effet, Rapoport, A. dans son livre "Pour une anthropologie de la maison" a identifié les différents facteurs intervenants dans l'acte conscient de la production architecturale. Celui-ci est fortement influencé par l'effet combiné des facteurs dits "objectifs" comme le site et le climat, et des facteurs "subjectifs" comme les coutumes, la culture et la tradition. (Rapoport, A. 1972).

La logique bioclimatique de l'habitat traditionnel nous offre des solutions architecturales, pouvant constituer des alternatives pour un développement plus harmonieux du cadre bâti.

Les architectures traditionnelles se sont adaptées aux conditions climatiques les plus sévères qui caractérisent le climat chaud et aride, grâce à plusieurs stratégies et techniques qui se résument sous forme de deux alternatives : protection contre les surchauffes et apport de fraîcheur naturelle, ces règles et critères de construction, restent valable jusqu'à nos jours.

Les procédés des techniques des performances thermiques dans l'architecture vernaculaire des pays chauds, sont aujourd'hui ignorés complètement, pour faire place à une technologie moderne faisant appel aux systèmes sophistiqués d'air conditionné, qui rejettent dans l'air des gaz (CFC) à effet de serre.

En Algérie, l'évolution des conditions techno-économiques qui entourent le projet, l'apparition de nouveaux matériaux et l'introduction de nouvelles techniques, ont fait reculer les solutions traditionnelles et le savoir faire qui s'y rattache.

Paradoxalement, l'évolution des techniques et des procédés de construction, s'est surtout faite au détriment des performances thermiques du cadre bâti. (Arbaoui, A. 1992)

Certes, le développement des nouvelles techniques a permis d'améliorer le confort de l'homme, mais certaines actions dans l'habitat actuel "ont abusé de ces techniques pour en faire un instrument nocif à l'intégrité de l'homme". (Benadji, A. 1999)

Cependant, l'habitat collectif contemporain a, non seulement échoué dans la réalisation des performances quantitatives qui lui été assignées, il a également montré ses insuffisances sur

le plan qualitatif, car le contrôle naturel des conditions de confort ainsi que le comportement thermique des constructions sont délaissés.

A ce propos, et afin de réduire les effets néfastes dû à la non prise en considération des paramètres climatiques et environnementaux dans la conception architecturale, la question de la performance thermique de l'habitat actuel a été traitée au cours de cette étude.

En ce sens, les quartiers récents de la ville étudiée contribuent à nourrir la réflexion sur la "nouvelle manière de construire" dans un milieu désertique, ce qui nécessite le développement des méthodes conceptuelles passives, économiques et non polluantes, susceptibles de rétablir et de contrôler les effets climatiques sur le confort thermique à l'intérieur des constructions contemporaines de la ville étudiée (Tamanrasset).

Pour répondre à ce questionnement et aux impacts de ce mode de construire, nous avons adopté, l'analyse bioclimatique passive à travers les tissus anciens du cas d'étude.

Pour ce genre d'étude, le recours à une recherche bibliographique basée sur l'exploitation des travaux analytiques et expérimentaux, développés dans le domaine de l'intégration de paramètres climatiques et environnementaux dans la conception architectural; nous a permis de recenser les stratégies de contrôle passif à utiliser dans les régions à climat chaud et aride.

Comme le climat est la première composante de l'environnement naturel que l'architecture peut exploiter pour atteindre la qualité des ambiances recherchées, il a été question de connaître et d'analyser les éléments du climat de Tamanrasset, sa relation avec les conditions du confort thermiques, les caractéristiques des milieux arides et les principales stratégies de contrôle bioclimatique dans ces milieux, résultat de l'analyse bioclimatique de Tamanrasset.

Pour vérifier l'impact du climat sur les constructions, une analyse thermique a été engagée, au cours de laquelle la performance thermique de l'architecture traditionnelle et contemporaine a été testée relativement au contexte climatique de Tamanrasset, en faisant prévaloir les conditions de la saison chaude et la saison froide.

Différentes investigations ont été utilisées, dans le but d'évaluer la performance thermique des deux types d'habitat, et qui ont consisté en une analyse thermique des facteurs de conceptions, ainsi en une étude pratique, basée sur des mesures de températures intérieures et de

l'humidité relative. Une simulation informatique à été appliquée pour mieux analyser les différentes situations, valider les résultats de l'investigation in situ et de proposer des solutions pour une amélioration de confort thermique à l'intérieur des logements analysés.

2- Résultats obtenus :

Les résultats de l'approche qualitative et quantitative ont permis d'établir a priori l'intégration climatique de l'habitat traditionnel. Elles ont également mis en évidence les aspects, qui ont un impact négatif sur l'adaptation climatique de l'habitat contemporain. D'un autre côté, il a été établi que certaines mesures pouvaient être envisagées pour optimiser ses performances thermiques.

L'étude confirme que la contrainte du climat a constitué un facteur primordial dans la conception de l'habitat traditionnel, car les critères de la bioclimatique sont recensés dans la forme urbaine et la conception architecturale de la maison échantillon.

En effet, l'analyse qualitative a montré que le confort thermique dans l'habitat traditionnel est assuré par la stratégie de la protection contre la chaleur, donc les tissus traditionnels optimisent la densité, pour constituer des îlots compact et épais. Ce type de tissus permet un effet de masse, donc une bonne inertie thermique des maisons. Il permet aussi la diminution des surfaces de l'enveloppe exposées aux radiations solaires. L'introversion de la maison, diminue les ouvertures vers l'extérieur pour s'ouvrir sur une cour qui joue le rôle de régulateur thermique. L'épaisseur et la grande capacité thermique des matériaux locaux, réduisent les amplitudes des flux thermiques et retardent le transfert de chaleur diurne jusqu'au couché du soleil, quand la température extérieure aura chuté.

La ventilation nocturne paraît insuffisante par manque d'ouvertures sur les murs opposés qui assurent une ventilation transversale, donc la chaleur transmise par les parois reste emprisonnée. Dans ce cas, la cour et la terrasse jouent un rôle prépondérant par leurs usages surtout la nuit, ce qui justifie le déplacement des habitants vers ces espaces extérieurs.

Mais, dans le cas de l'habitat contemporain, les appartements étaient, en apparence équipés d'ensemble de moyens nécessaires (eau, électricité, etc.) et répondaient aux contraintes

d'habitabilité, mais en contre partie, ils étaient nullement adaptés au climat. Le problème majeur qui se pose dans ce cas, c'est bien l'éclatement du tissu urbain, car les assemblages actuels restent souvent linéaires qui, ont donc des effets négatifs sur le microclimat, par l'importante surface goudronnée, ainsi que, les espaces nus qui existent entre les constructions, d'autre part, les surfaces externes des volumes exposées aux contraintes climatiques, leurs mauvaise orientation favorise l'exposition au rayonnement solaire intense. La conception des appartements (extraverti) avec de larges ouvertures, ainsi que la mauvaise qualité thermo-physique des matériaux de construction employés, contribuent donc à l'augmentation des températures intérieures en période chaude.

L'analyse quantitative a révélé que la période froide ne pose pas un grand problème, car ce dernier peut être résolu par la captation d'énergie solaire à travers les fenêtres ou le recours à un chauffage d'appoint pendant une courte période.

Mais la problématique du confort d'été apparait plus pertinente. Les résultats de l'investigation ont montré que la température à l'intérieur de l'habitat contemporain (HC), suit l'évolution de la température extérieure, son amplitude égale à 4°C avec une augmentation d'environ 0,6°C par heure, et l'humidité relative égale à 19% la nuit. Cela signifie que la réponse aux sollicitations extérieures est presque immédiate.

En effet après la confrontation de ces résultats avec la température de confort, les valeurs de la température intérieure mesurées sont situées en dehors des limites de la zone de confort. Cela est dû bien sur aux critères de conception et de construction, cités plus haut.

Dans le cas de l'habitat traditionnel (H.t.), les fluctuations de la température extérieure n'ont pas une conséquence directe sur la température intérieure, du moment que l'amplitude est égale à la moitié de celle de l'H.C. (2°C), avec une augmentation de 0,3°C par heure et une humidité relative maximale égale à 22% pendant le matin. Ce qui justifie l'emplacement de ces résultats à l'intérieur de la zone de confort. Cela est obtenu grâce aux éléments conceptuels qui favorisent la protection, tels que la compacité, les tailles des ouvertures, l'orientation et l'inertie thermique. Ce résultat est proche de ceux de plusieurs chercheurs, tels que Lavigne P, Givoni B, Mazria E, Bennadji A.

L'analyse des matériaux de construction employés à Tamanrasset a montré que les matériaux locaux utilisés dans l'H.T. se caractérisent par de faibles valeurs de la diffusivité et de la conductivité thermique, en comparaison avec les matériaux modernes employés dans la construction contemporaine. Ceci confirme la bonne inertie thermique des parois utilisées dans la construction traditionnelle. Ce résultat se rapproche à ceux des chercheurs, tels que Givoni B, Alexandroff J.M, Sarenkalali H, Salomon T.H, Ibn Salah M.

Les enveloppes ont donc toujours été considérées comme élément régulateur des relations intérieures/extérieures du point de vue climatique. Le comportement des enveloppes par rapport au rayonnement solaire, joue un rôle déterminant dans le confort des espaces intérieurs et extérieurs en tant que surface réceptrice et émettrice d'énergie, par réflexion et par diffusion.

Le degré d'intégration climatique du bâtiment contemporain en période chaude, a été déterminé par la méthode de simulation qui a permis de valider les appréciations qualitatives de l'approche précédente.

En effet, après la confrontation des limites des températures de confort de Tamanrasset obtenu lors de l'analyse bioclimatique des différents chercheurs, avec les résultats des températures intérieures calculées par le programme et qui sont comprises entre 31 °C et 33°C, le résultat indique que l'H.C. est loin d'atteindre les températures de confort acceptables.

Dés lors les paramètres qui peuvent influencer la température intérieure ont été testés par le programme, il s'agit de:

- l'épaisseur et les différents matériaux qui constituent les parois extérieures
- le contrôle de l'ensoleillement
- la ventilation
- les charges intérieures
- le coefficient d'absorption

Des conditions acceptables ont été obtenues. Leurs applications sur le cas d'étude (cas optimum) ont donné un abaissement considérable de la température intérieure, de l'ordre de 4°C durant les 24 heures, malgré ce résultat, le confort n'est atteint que pendant une tranche horaire réduite.

Les résultats seront très satisfaisants en introduisant, certains dispositifs, architecturaux et techniques de refroidissement passif, ainsi que l'amélioration du microclimat.

Après l'analyse de la qualité thermique de l'habitat contemporain, ce qui est caractéristique de ce type c'est la mauvaise performance thermique, surtout en été.

Toute fois, il est arrivé le temps pour que la cadre bâti saharien d'entreprendre un saut qualitatif, après avoir vécu, ces dernières décennies, entre l'expectative et les bonds quantitatifs.

Par conséquent, la recherche d'équilibre climatique entre l'habitat et son milieu, s'exprime sous le climat aride de Tamanrasset, par la diminution des apports calorifiques intérieurs et extérieurs et la favorisation d'une ventilation fraîche par les concepts de protection et de dissipation.

Mais dans la mesure où notre cadre bâti contemporain n'est pas porteur de ces principes, il faut les chercher en effectuant des transpositions nécessaires dans le monde de conception traditionnelle.

"En tout état de cause, que ce soit pour des raisons climatiques, constructives, sociales ou culturelles, les multiples moyens d'assurer une continuité plutôt qu'une rupture avec la tradition méritent, d'être explorés en chaque lieu, car aujourd'hui, chez les peuples islamiques, en général, et en Algérie en particulier, la rupture avec la tradition est brutale". (Abdulac, S. et al. 1973)

Cela dit, les solutions apportées par l'architecture vernaculaire, ne devrait pas signifier imitation de cette dernière. Elles sont plutôt à exploiter, dans le cadre d'une démarche analytique, apte à fournir aux concepteurs, des stratégies conceptuelles qui relèvent des moyens et techniques qui ont fait leurs preuves. "... les expériences du passé ne doivent pas nous intéresser pour les transformer ou les réadapter, mais plutôt pour nous aider à choisir dans un contexte très différent : c'est-à-dire, non pas ce qu'on fait les anciens, mais ce qu'ils feraient à notre place". (Campajolat et al. 1989)

Donc produire des formes d'habitat, qui se réfèrent aux structures locales, assimilées aux systèmes "passifs" et qui intègrent, les exigences de la vie moderne, permettent aux individus de s'y identifier, au lieu d'introduire des systèmes "actifs" en consommant des énergies non renouvelables et polluantes.

3- Recommandations :

A la lumière des résultats obtenus suite à l'analyse qualitative basée sur le savoir scientifique et expérimental, l'analyse quantitative par simulation, et grâce à l'utilisation des méthodes d'aide à la conception bioclimatique des différents auteurs, c'est-à-dire l'analyse bioclimatique appliquée au climat de Tamanrasset, diverses stratégies de conceptions passives qui devraient être prise en considération ont été déterminé. En les appliquant, le confort thermique sera atteint à l'intérieur des logements contemporains sans le recours aux appareils énergivores.

Ceux ci fonderont l'élaboration des sommes de recommandations qui seront formulées à l'intention des décideurs, législateurs, architectes et de tous ceux qui ont le pouvoir de promouvoir un cadre bâti résidentiel pour le plus grand nombre, lequel pourra assurer à ses occupants un minimum de confort thermique.

Pour obtenir les conditions optimales de contrôle climatique, l'amélioration de l'habitat contemporain touche non seulement le logement, mais, elle se fait aussi au niveau de l'espace extérieur (microclimat).

Espaces extérieurs (microclimat):

a- Choix rationnel du site pour l'implantation de l'habitat, car il peut influencer le microclimat par sa topographie et les caractéristiques de la surface du terrain.

b- Disposition des constructions ou plan de masse compact permet de:

* réduire l'abondance du béton armé et de l'asphalte,

* procurer de l'ombre à l'extérieur et sur les volumes,

* réduire les effets du vent chaud qui touche les façades et cause les surchauffes à l'intérieur.

c- Utilisation de la végétation: on peut utiliser une variété de types de végétation de façon très efficace.

* les arbustes bas, les buissons et les pelouses, cette végétation stabilise le sol, atténuent le rayonnement réfléchi par les routes et les chemins.

* les arbres à feuilles caduques fournissent de l'ombre en été et canalisent les brises, conviennent particulièrement en plantation sur les côtés sud, est et ouest, ou dans les cours. Ces espèces

perdent leurs feuilles à la fin de l'automne, les rayons du soleil réchauffent les parois et le sol autour des constructions.

Le choix des essences d'arbres se fera alors en fonction de la hauteur qu'ils peuvent atteindre

d- Utilisation de moyens d'humidification: d'après l'étude du climat de Tamanrasset, pendant la période chaude l'humidité tend à être insuffisante pour rafraîchir l'environnement, il faut donc créer des surfaces d'eau et les plantes qui présentent une efficacité très importante dans l'humidification de l'air.

La conception du bâtiment:

L'apport et le rejet de chaleur à travers les éléments de construction différemment constitués, orientés et localisés expriment des périodicités directionnelles et quantitatives. Le contrôle climatique consiste donc en la modulation de ces formes de transferts, qui peut se réaliser de différentes façons. On devra tenir compte de:

- Forme:

- * Bâtiment collectif compact, peut être en formes fermées autour de cours intérieures. Ce qui permet de diminuer les surfaces de contacts avec l'extérieur.
- * La disposition des bâtiments en bandes est à éviter.

- Orientation:

- * Il convient d'orienter les bâtiments suivant un axe est-ouest. On peut modifier quelque peu l'orientation préconisée, afin de bénéficier de la brise prédominante ou encore afin de permettre pendant la saison de froid un certain réchauffement sous l'effet du soleil.
- * Bâtiment à double orientation permettant une circulation d'air intermittente.
- * Dispositions d'ouvrants pour capter les brises dominantes de la nuit en été, en leurs associant des sorties d'air sensiblement de même taille sur la façade opposée ou dans les parties de l'enveloppe en zone de dépression.
- * Une ouverture orientée au sud facilite la pénétration du rayonnement solaire à l'intérieur du logement pendant la saison froide.

- Ouverture et occultations:

- * Dimension des ouvertures en moyenne 20 à 40% de la surface du mur.
- * Protection grâce à un auvent horizontal placé en casquette au-dessus de la baie, avec une avancée.
- * Utilisation des éléments verticaux pour empêcher le rayonnement solaire d'être absorbé par des parois de faible résistance thermique.

- Matériaux de construction:

Enveloppe :

- * Murs: bonne inertie thermique agit comme régulation naturelle du climat intérieur en accumulant et en amortissant les variations de température.
Construction massive ou isolation adéquate placée à l'extérieur qui permet un décalage horaire supérieure à 8 heures.
- * Toiture : la toiture transmet jusqu'à 2/3 des transferts de chaleur de l'enveloppe vers l'intérieur. La réflectivité et son isolation limitent ses apports thermiques à l'aide d'une teinte claire (chaux) ou un matériau réfléchissant.
- * Espace: L'espace social doit être localisé, conçu et équipé dans la perspective d'un allongement de la saison chaude (emplacement pour le sommeil en plein air).

-La réglementation :

- * L'objectif de base de la réglementation serait alors la réalisation d'un confort hygrothermique minimum grâce à l'amélioration de la qualité thermique du bâtiment en tenant compte bien sûr des spécificités de l'originalité du contexte culturel, économique, technique et climatique du pays.

De ce fait, il est nécessaire aujourd'hui plus que jamais de penser sérieusement à l'intégration du climat dans tout processus de planification urbaine et architecturale. Ceci suppose évidemment, qu'en parallèle à ces exigences, il faut mettre à la disposition des planificateurs et concepteurs des moyens et des outils (banque de données); qui leur permettent d'appliquer les recommandations, vérifier et veiller sur l'application et la concrétisation de différentes orientations dans ce sens.

A terme de cette étude, nous pensons avoir la possibilité de concilier le plus haut confort et l'efficacité énergétique tout en contrôlant le réchauffement de la planète.

4- Suggestions pour des travaux futurs :

La présente recherche a permis d'aboutir à des conclusions générales, qui ont été formulées dans le cadre d'un certain nombre de limites définies préalablement. Ces conclusions, ont à leur tour servi de base à l'élaboration d'un ensemble de recommandations qui indiquent un cadre d'utilisation possible des résultats obtenus.

Cependant, il est un fait que cette étude n'est pas exhaustive, un certain nombre de contraintes et de limites ont besoin d'être investies pour l'affiner et étendre son application.

Dans ce contexte, essayer de compléter les résultats obtenus dans cette recherche par d'autres techniques de contrôle des facteurs climatiques (exemple : associé une tour à vent), faire une analyse plus poussée et détaillée du microclimat de Tamanrasset, pour enfin aboutir à la proposition et même à la réalisation d'un prototype de logement intégré au climat de cette région.

Il est aussi nécessaire d'effectuer des travaux de recherche plus élaborés pour définir les limites de confort thermique d'hiver et d'été pour les différentes zones climatiques du pays, cette étude nécessite un matériel spécifiques et des équipes de travail sur terrain.

Références bibliographiques

- **Abdulac, S. et Pinon, P. (1973)** : "Maison en pays Islamic". Architecture d'aujourd'hui N°167, mai/juin 1973.
- **Abdulac, S. (1987)** : "Habitat traditionnel et adaptation au milieu naturel". The Aga Khan program for Islamic architecture. Combridge, 1987.
- **Alpheeis, P. (2003)** : "Les enveloppes performantes des bâtiments et les systèmes énergétiques économes". Rapport final. Plan d'urbanisme et construction. Lausanne 2003.
- **Arbaoui, A. (1992)** : "L'architecture traditionnelle du sud algérien comme réponse au climat". Préparation d'une réglementation pour l'amélioration du confort, Tunis, 06/11/1992.
- **Arib, K. (2002)**: "Ahaggar aux origines du patrimoine architecturale". Edition : Dalimen, 2002.
- **Aubert, C. et Salomont, T. (2006)** : "Fraîcheur sans clim : le guide des alternatives écologiques". Collection : terre vivante, 2006.
- **Alexandroff, G. et J.M. (1982)** : "Architecture et climat, soleil et énergies naturelles dans l'habitation". Edition: Berger-Levrault, 1998.
- **Auliciens, A. (1981)**: "Global differences in indoor thermal requirements". ANZ 443 conference, Edition: Brisbane, 1981.
- **Bahamon, A. et Alvarez, A.M. (2009)** : "Habitat lacustre. L'architecture vernaculaire au contemporain". Edition : L'inédite 2009.
- **Bellin, P.G. (2008)** : "L'habitat bioéconomique", (fondation Arco Minore). Ed. Eyrolles 2008.
- **Biau, V. et al. (2004)** : "Enjeux, critères et moyens de la qualité dans les opérations de logement". Edition : PUCA, Paris 2004.
- **Bornarel, A. et al. (2008)** : "Intégrer la qualité environnementale dans les constructions publique". Edition : CSTB, Paris 2008.
- **Bousquet, C. (1986)** : "Les nouveaux citadin de Beni Isguen", M'zab (Algérie), URBAMA N° 17, Tours, 1986.
- **Bozonnet, E. et al. (2006)** : "Approche méthodologique de la construction durable en milieu urbain : le microclimat et son impact environnemental sur les constructions". Rapport final, juillet 2006.
- **Campajola, V. et Galo, C. et Zevi, L. (1989)** : "Texte de présentation de l'exposition ENARCH". Publication de l'ADEME 1723, 1989
- **Capderou, A. (1985)** : "Atlas solaire de l'Algérie". Edition : OPU, Alger 1985.

- **Contal, M.H. et Revedin, J. (2009)** : "Une nouvelle éthique pour l'architecture et la ville". Edition : Le moniteur, Paris 2009.
- **Côte, M. (2005)** : "La ville et le désert, le bas Sahara algérien". Edition : Karthala et Iremam 2005.
- **Chitour, C.E. (2003)** : "Pour une stratégie énergétique de l'Algérie à l'horizon 2030". Act de 7^{ème} journée de l'énergie, Alger 16 Avril 2003
- **Chateler, A. ; Fernandez, P. et Lavigne, P. (1998)** : "Architecture climatique : une contribution au développement durable". Concept et dispositif (tome 1et 2). Edition : sud, Aix en Provence 1998.
- **CNERIB (1998)** : "Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments -climatisation-D.T.R C 3-4". Edition : PAO.
- **Corrad, m. (1998)** : "La maison écologique, manuel de Bio-habitat, toutes les règles pour vivre dans un environnement sain". Edition : De Ve cchis, Paris 1998.
- **Dalencon, M.J. (1972)** : "Monographie d'une Oasis : Tamanrasset et son évolution". Mémoire de géographie, faculté des lettres, Aix en Provence, France 1972.
- **Duchene, Ph ; Nibel ; Sy ; Chatagnon, N ; Quintrec, L ; (1998)** : "Evaluation de la qualité environnementale des bâtiments : contexte-problématique- et revue des approches méthodologique existantes". Etude CSTB, France 1998.
- **Duprat, B. et Paulin, M. (1986)** : "les types d'architecture traditionnelle des alpes du nord". Laboratoire de formes, université de Lyon.
- **Eben Salah, M.A. (1990)** : "Thermal isolation of building in a new ly built environment of a hot climate: The Saudi Arabian experience". International journal of ambient energy Vol. II (1990). P.157-168.
- **Fatyy H. (1986)** : "Natural energy and vernacular architecture". Principals and examples with references to hot climates. The university of Chicago press. Chicago 1986.
- **Fouin, J. (2003)** : "Maison bio". Edition : Flammarion 2003.
- **Fernandez, P ; Lavigne, P. (2009)** : "Concevoir des bâtiments bioclimatique : fondement et méthode". Edition : Le Moniteur, Paris 2009.
- **Farel, A. (2007)** : "Bâtir éthique et responsable". Edition du Moniteur, Paris 2007.
- **Fitch, J.M. (1960)** : "Primitive architecture and climate". Scientific American, décembre 1960.
- **Givoni, B. (1978)** : "L'homme, l'architecture, le climat". Edition : le Moniteur, Paris 1978.
- **Gnobe, C. (2008)** : "Construire une maison passive". Edition : l'Inédite, Paris 2008.

- **Gonzolo, P ; Habermann, K.J. (2008)** : "Architecture et efficacité énergétique: principe de conception et de construction". Edition : terre vivante, 2008
- **Gauzin, M. (2009)** : "Habiter écologique. Quelles architectures pour une ville durable". Edition : le moniteur 2009.
- **Gauzin, M. (2005)** : "L'architecture écologique : 29 exemples Européens". Edition : le moniteur 2005.
- **Guerriat, A. (2008)** : "Maisons passives, homme/habitat/environnement (principe de réalisation)". Edition: l'Inédite 2008.
- **Humphreys, M.Z. ((1978)** : "Out door temperatures and confort indoors". Building Research and practice (1978).
- **Ibrahim, N. (2010)** : "Appropriate Building Patterns for Saint Catherine". Egypt A Building Guide Book. Published buy centre of Building Crafts, St. Catherine Egyptian Earth construction Association.
- **Izard, J.L. (1993)** : "Architecture d'été, construire pour le confort d'été". Edition: edisud (1998).
- **Izard, J.L. ; Guyot, A. (1979)** : "Archi-bio". Edition: Parentheses 1979.
- **Koenigsherger, O.H. (1980)** : "Manual of tropical housing and building". Part 1, climatic design (commonwealth printing, Hong Kong) 1980.
- **Konya, A. (1972)**: "Design primer fort hot climates". The architectural press, Ltd. Londre 1980.
- **Laigle, L. (2009)** : "Vers des villes durables: les trajectoires de quatres agglomérations européennes". Edition : PUCA, Paris 2009.
- **Lallemant, A. (1996)** : "Technique de l'ingénieur : mécanique, chaleur, 1996
- **Le fever, P. (2008)** : "Architectures durables". Edition : edisud, Aix en Provence 2008.
- **Liébard, A. et De Herde, A. (2005)** : "Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable". Edition : le Moniteur, France 2005.
- **Mazze, B. (1998)** : "Passé lointain de la région d'Adrar". Collection, parcours du Sahara 1998.
- **Merra, E. (2007)** : "Architecture, terre". Edition : l'inédite 2007.
- **OKE ,T.R (1982)** : "the energetic basis of an urban heat island", quart, J Roy. Meteor,1982 .
- **Olivia, J.P. (2001)** : "Isolation écologique. Conception, matériaux, mise en œuvre". Edition : terre vivante, Mens, France 2001.
- **Musset, J.P. (1987)** : "les espaces urbain". Edition : le Moniteur, Paris 1987.

- **Pandolfi, P. (2000)** : "L'habitat du Hoggar, entre tente et maison : la hutte". Edition : Karthala 2000.
- **Pandolfi, P. (1998)** : "Les touaregs de l'Ahaggar du Sahara Algérien, parente et résidence chez les Dag-Ghâli". Edition : Karthala 1998.
- **Penportier, B. (2003)** : "Eco-conception des bâtiments, bâtir en préservant l'environnement". Edition : les presse de l'école des mines de Paris, Paris 2003.
- **Penportier, B. (2006)** : "Prendre en compte la dimension environnementale à chaque stade de la construction". Edition : les presse de l'école des mines de Paris, Paris 2006.
- **Piro, P. (2006)** : "Guide des énergies vertes pour la maison". Edition : terre vivante, France 2006.
- **Pressman, N. (1994)** : "Architecture et comportement-facteur climatique". Numéro spécial. Edition : Lausanne, Suisse 1994.
- **Porcher, G. (1989)** : "cours de climatisation, base de calcul des installations de climatisation". Edition : CFP 1989.
- **Rappoport, A. (1972)** : "Pour une anthropologie de la maison". Edition : Dunod, Paris 1972.
- **Roulet, C.A. (2004)** : "Santé et qualité de l'environnement intérieur dans le bâtiment". Collection gérer l'environnement. Edition : ISBB, presses polytechnique et universitaire romandes 2004.
- **Sahu, S ; Prakash, P. (1998)** : "A study of solar heat gain to multistorey buildings in hot and arid regions". Building and environment. Pergamon press 1998.
- **Salve, C. (1986)** : "conception des formes urbaines et contrôle énergétique. Actes du colloque". Nantes 25-26 avril 1986, p112.
- **Sayigh, A.A.M (1979)** : "Solar energy application in buildings". Academic press.London 1979
- **Shaviv, E. (1984)** : "climate and building design-tradition, Research and design tools". Energie and building, vol.7, p55-69.
- **Schmitz Cünther, T. (1999)** : "Eco-logis, la maison à vivre". Edition: Könemman 1999.
- **Slavid, P. (2008)**: "Architecture des limites: construire en milieu hostile du désert au vide interplanétaire". Edition: Seuil 2008.
- **Saremkalali, H. (2007)** : "chronique des matériaux de construction –les bétons de terre-". Edition : Lausanne, Suisse 2007.
- **Snell, K. et Callahan, T. (2006)** : "Manuel de construction écologique : murs en paille, en torchis, en bois cordé, toit végétal". Edition : la plage 2006.

- **Tolb, K. (1983)** : "Review of climatic design concepts and details in traditional architecture in various climatic zones-Saudi Arabia". Passive and low energy, pergamon press 1983.
- **Traisnel, J.P.; Merlin, P. (2003)** : "Que sais-je : Energie environnement et urbanisme durable". Presse universitaire de France, juin 2003.
- **Vu, B. (2008)** : "construire ou rénover en respectant la haute qualité environnementale". Edition : Eyrolles, Paris 2008.
- **Venolia, C. ; Lerner, K. (2007)** : "Rénovation écologique transformer sa maison au naturel ; isoler-restaurer-décorer". Edition : la page 2007.
- **Watson, D. ; Camous, P. (1986)** : "L'habitat bioclimatique". Québec 1986.
- **Willemin, V. (2010)** : "Habiter demain : de l'utopie à la réalité". Edition : Altern 2010
- **Wines, J. (2008)** : "l'architecture verte". Edition : Taschen 2008.
- **Yacef, P. (1997)** : "Séminaire sur l'économie de l'énergie". Alger, avril 1997.
- **Zockolay, S.V. (1980)** : "Environmental science hand book, for architects and builders". The construction press, London 1980.

I- Document de planification :

- 1- La wilaya de Tamanrasset par les chiffres. Année 2008.
Direction de la planification et de l'aménagement du territoire.
- 2- Plan d'occupation de sol : POS GTAA el Oued N° B08, 1^{ère} phase, octobre 2001.
- 3- Journée d'étude : thème : Amélioration du cadre bâti à Tamanrasset, le 15/03/1999, NAPRO (National Techno Project).
- 4- PDAU, commune de Tamanrasset, phase 3, novembre 1996, URBAB.
- 5- Plan d'occupation de sol : POS commune de Tamanrasset, N° 6^E, rapport de présentation, mars 1996.
- 6- Plan d'occupation de sol : POS Outoul, N° 11A, décembre 2004.
- 7- Aménagement et restructuration quartier Gataa et Oued, phase 1, état de fait, décembre 1998.
- 8- Plan d'occupation de sol : Centre ville de Tamanrasset, N° 45, juillet 2002.
- 9- Plan d'occupation de sol : Centre ville de Tamanrasset, Octobre 1999

II- Thèses et mémoires :

- **Abdou-Outas 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 Mentouri Constantine 2004.
- **Bennadji, A. (1999)** : "Adaptation climatique ou culturelle en zone aride Cas de sud algérien". Thèse de doctorat, université de Aix Marseille 1999.
- Benkhoucha Rabie** : "Les effets d'une grande infrastructure routière sur le développement urbain –le cas de Tamanrasset-". Thèse de magistère, EPAU 1983.
- **Chelghoum Zohra** : "Pour un habitat à bas profil énergétique. Cas de Constantine". Thèse de magistère, université Mentouri Constantine 2000.
- **Chelghoum Zohra** : "Notions de confort et données de base pour un habitat intégré au climat". Cours de deuxième année architecture, université Mentouri Constantine 2007.
- **Derradji Mohamed** : "Conception et modélisation de dispositif de ventilation et de rafraîchissement passif utilisant les cheminées solaires couplées à un échangeur sol-air". Thèse de doctorat, université Mentouri Constantine 2008.
- **Mahimoud Aïssa** : Pour une approche appropriée à l'urbanisation du Sahara, cas de la ville de Biskra. Université de Constantine 2010.
- **Maazouz Said** : L'interaction des facteurs physique de l'environnement dans le processus de construction architecturale. L'apport des systèmes experts. Thèse de doctorat; université de Constantine 2000

III- Articles et recherches disponible sur Internet :

- <http://www.ilot de chaleur.com>
- <http://www.freefoto.com>
- <http://www.negawtt.org>
- <http://www. Ksar Tafilalt .com>
- <http://www.climat 2000.com>
- <http://www. whikipediat.com>
- <http://www.changement climatique.com>
- <http://www .Google earth2013>

IV-SEMINAIRES :

1-Séminaire international ville et santé .Laboratoire ville et santé .09-10 décembre 2007 Constantine.

2-Journées internationales de thermique(JITH) . 10-13 septembre 2001 la Marsa ; Tunisie

3-5ème séminaire international sur la physique énergétique, Bechar ,2008

4- Al Azhar engineering; Eighth International conference (AEIC 2004); December 24-27-2004 Cairo-Egypt.

5- 2nd international workshop BAPS 2012. environmental architecture and building technologies. 09-10 April 2012 Constantine. "laboratoire architecture bioclimatique et environnement ABE".

ANNEXE 1

Données climatiques

m. an.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2000	221	239	241	328	342	354	361	357	346	310	240	215
2001	203	201	269	316	343	354	365	349	340	304	253	213
2002	199	206	263	330	347	344	354	344	336	294	253	225
2003	224	225	286	302	341	359	363	350	349	286	256	227
2004	202	225	267	303	345	359	368	360	349	276	249	228
2005	213	228	263	310	345	349	358	344	339	308	263	212
2006	201	236	257	313	337	352	348	355	334	302	254	227
2007	189	219	265	322	348	346	365	357	342	304	256	217
2008	200	235	280	320	344	356	358	362	342	301	238	211
2009	225	238	259	313	340	368	358	352	336	309	258	212
T.max.moy.	207,14	224,14	259,93	307,93	341,21	353,64	358,71	352,64	340,00	299,43	252,43	218,57

Tableau 1: Température maximale (période 2000-2009)

Source : Office National de la Météorologie, Tamanrasset

m. an.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2000	55	86	88	170	214	232	236	240	235	172	74	81
2001	44	38	107	176	201	227	239	232	221	176	117	58
2002	62	42	102	169	207	218	225	223	196	169	98	55
2003	35	46	113	134	192	225	230	231	215	161	99	73
2004	50	63	117	160	216	230	236	236	226	164	101	81
2005	67	70	101	162	199	225	244	226	221	176	116	59
2006	53	82	112	170	190	224	225	233	200	169	104	85
2007	43	83	135	175	212	223	238	230	216	180	116	65
2008	48	80	111	167	202	228	230	235	213	174	100	63
2009	62	75	115	154	192	228	234	225	210	153	100	76
T.max.moy.	50,36	65,21	110,43	156,36	201,64	224,93	232,57	230,36	214,93	167,79	102,64	67,64

Tableau 2: Température minimale (période 2000-2009)

Source : Office National de la Météorologie, Tamanrasset

m. an.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2000	139	165	170	257	281	297	304	299	291	244	161	149
2001	127	124	193	251	279	297	306	292	280	242	187	138
2002	133	133	191	259	284	289	395	288	275	235	181	144
2003	136	144	210	227	276	300	304	249	287	231	183	153
2004	128	149	196	233	284	301	309	301	291	220	179	158
2005	142	155	188	240	279	288	306	290	284	247	194	140
2006	130	165	190	246	271	296	289	298	273	240	180	157
2007	118	152	200	251	284	284	305	295	278	244	185	142
2008	125	159	199	246	275	294	296	299	273	236	169	136
2009	142	160	187	237	269	304	297	288	273	234	180	141
T.max.moy.	131,36	149,79	190,07	237,86	277,07	294,79	307,71	290,86	280,07	236,50	180,71	145,14

Tableau 3: Température moyenne (période 2000-2009)

Source : Office National de la Météorologie, Tamanrasset

m. an.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2000	35	35	31	28	31	40	29	37	38	33	35	47
2001	42	36	35	26	23	23	24	40	44	36	44	38
2002	49	35	30	23	27	30	30	34	33	39	32	36
2003	31	33	25	25	23	23	21	35	32	31	37	42
2004	35	33	23	30	23	22	24	39	34	56	45	48
2005	39	39	35	29	23	41	27	44	33	39	39	41
2006	42,2	32,8	29,9	27,2	24,1	27,9	34,9	33,3	34,6	34,2	42,6	41
2007	38,3	66,6	50,1	29,2	33	47,8	27,8	31,6	41,9	48,1	44,5	47,5
2008	50,7	46,6	24	23,1	25,4	26	35,5	36,5	46,9	46	42,1	37,1
2009	32,2	32,3	27,7	26,4	24,4	18,8	30,3	48,4	33,2	27,1	30,5	50,5
H.max.moy	39,74	37,66	33,34	29,06	26,21	30,68	28,04	37,70	37,40	40,10	38,55	43,01

Tableau 4: Humidité relative maximale (période 2000-2009)

Source : Office National de la Météorologie, Tamanrasset

1

m. an.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2000	10	11	11	10	11	12	11	12	14	15	12	17
2001	10	10	12	10	9	10	9	13	15	13	18	11
2002	17	10	11	9	11	11	11	11	11	12	10	10
2003	9	10	9	9	10	9	9	12	13	14	14	15
2004	11	12	9	10	9	9	10	11	12	20	15	16
2005	11	12	11	11	9	13	11	17	12	15	12	11
2006	10,6	13	9,8	9,5	9,3	9,9	11,8	12	17,4	15,3	18,1	13,6
2007	12,1	17,3	17,9	9,6	12	14,3	9,7	11,8	14,6	17,2	14,9	14
2008	14,8	12,6	9	9,6	9,4	9,9	11,4	11,5	15,4	16,3	16,5	11,9
2009	10,1	10	11,2	10,1	9,3	9,2	11,8	15,4	12,6	10	10,9	17,4
H.min.moy.	11,69	11,49	11,42	10,13	10,00	10,88	10,55	12,62	13,36	14,63	13,10	13,71

Tableau 5: Humidité relative minimale (période 2000-2009)**Source :** Office National de la Météorologie, Tamanrasset

m. an.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2000	20	21	19	16	19	23	17	22	24	23	22	30
2001	23	21	21	15	13	14	14	23	27	23	30	21
2002	31	20	19	13	16	18	17	20	20	23	18	21
2003	17	18	14	13	13	13	13	21	20	21	24	27
2004	21	20	13	17	13	13	14	21	20	36	27	29
2005	22	22	20	17	14	23	16	28	20	15	23	23
2006	23,4	20,9	16,1	16,1	13,4	15,6	20,7	19,3	24,4	23,5	29,2	24,5
2007	22,7	38	31,3	16,6	20,7	27,6	15,8	19,6	25,9	29,9	27,5	28,6
2008	29,1	26,3	13,4	14,2	15,5	16,2	20,5	20,7	28,3	29	28,1	23
2009	18,8	18,9	17,3	16	14,4	12,2	18,9	28,9	21,4	17	19,4	32,3
H. moy.	22,86	21,79	19,79	16,71	15,57	17,97	16,64	22,18	23,00	24,18	23,09	25,24

Tableau 6: Humidité relative moyenne (période 2000-2009)**Source :** Office National de la Météorologie, Tamanrasset

m. an.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2000	296	301	304	276	230	177	287	263	214	295	304	236
2001	305	284	305	259	332	325	335	265	249	301	271	292
2002	250	319	322	323	290	286	324	275	275	207	261	302
2003	308	287	342	335	319	314	348	255	258	302	301	284
2004	302	287	306	252	234	258	312	240	222	253	302	277
2005	237	266	325	290	285	203	304	274	230	284	267	292
2006	257,5	283,5	291,5	275,8	328,4	224	283,2	287,3	306	317,2	297,2	238,2
2007	278,2	227,5	290,2	312,4	272,4	232,6	321,4	270,7	243,5	263,1	280,2	292,9
2008	273,1	245,6	333,8	315	301,3	245,1	306,1	242,2	210,3	259,9	308,2	289,2
2009	310,5	270,5	234,6	246	286,8	310,3	205,1	210,2	250,2	286,3	274,8	261,2
Moyennes	284	281	297	295	288	256	307	266	243	276	290	276
Moy. jour	9,16	10	9,6	9,8	9,3	8,5	9,9	8,6	8,1	8,9	9,6	8,9
Moy. Ann.	280 heures											
Total	3360 heures											

Tableau 7: Durée d'insolation moyenne en heures période (période 2000-2009)**Source :** Office National de la Météorologie, Tamanrasset

m. an.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2000	26	36	38	43	41	40	46	46	49	35	25	27
2001	34	35	42	41	34	48	43	45	42	37	25	23
2002	31	29	37	41	52	47	41	33	23	39	17	23
2003	15	21	28	40	44	44	57	35	41	46	24	18
2004	30	32	39	41	45	33	40	35	27	25	15	20
2005	26	38	36	41	33	33	38	31	35	24	23	15
2006	2,1	3	2,9	3,5	4,4	3,3	3,3	3,2	2,9	3,2	2,3	2,2
2007	4,1	3,7	3,8	4,2	4	4,6	4,8	4,1	4,1	3,4	2,8	2,8
2008	3,8	4	4,1	4	4,9	5	4,3	4,6	4,2	3,7	3,3	3,5
2009	3,7	3,6	5	4,7	4,7	4,6	4,7	4,9	4,4	3,4	3,2	3,2
V. V.	21,20	24,02	29,34	32,03	30,93	31,18	31,44	28,56	27,04	25,69	17,90	17,26
	30,3	33	29	24,6	23,8	22,4	20,9	24,4	28,3	32,1	41,3	43

Tableau 8: Vitesse du vent (en 1/10mm) (période 2000-2009)**Source :** Office National de la Météorologie, Tamanrasset

Mois \ Orientation	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Calme	moyenne	vitesse
Janvier	8,1	3,2	12,1	9,2	6,4	2,3	5,1	14,4	39,3	7,60	2,12
Février	10,2	2,8	9,4	10,3	7,8	3,1	5,4	17,9	33,0	8,36	2,40
Mars	11,8	2,1	9,1	11,4	9,9	4,4	6,6	15,8	29,0	8,89	2,93
Avril	13,5	2,8	6,3	8,8	9,9	5,0	9,1	20,1	24,6	9,44	3,20
Mai	13,5	3,9	10,3	11,2	12,8	4,9	5,9	13,7	23,8	9,53	3,09
Juin	8,2	5,3	17,4	19,3	14,6	3,9	3,1	5,7	22,4	9,69	3,12
Juillet	4,3	4,3	24,7	24,4	12,9	2,9	2,1	3,5	20,9	6,84	3,14
Aout	6,8	5,8	22,1	21,1	10,5	2,5	2,9	3,8	24,4	9,44	2,16
Septembre	7,6	5,7	19,8	16,8	11,4	3,4	2,9	4,2	28,3	8,98	2,70
Octobre	5,8	3,7	15,0	16,7	10,2	4,6	4,2	7,7	32,1	8,49	2,57
Novembre	5,1	2,6	10,6	11,0	8,7	4,2	6,1	10,4	41,3	7,34	1,79
Décembre	6,4	3,1	10,8	8,8	7,0	3,5	4,3	13,2	43,0	7,14	1,72

Tableau 9: Fréquences des 08 directions de vent (en %)

Source : Office National de la Météorologie, Tamanrasset

Direction	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Calme
Fréquence	8,4	3,8	14,0	14,1	10,2	3,7	4,8	10,8	30,23

Tableau 10: Fréquence des 8 directions du vent (en 1/10mm) (période 2000-2009)

Source : Office National de la Météorologie, Tamanrasset

m. \ an.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2000	0	0	0	0	30	110	110	29	5	0	0	35
2001	3	0	0	0	0	0	0	193	197	3	0	0
2002	1	0	0	0	1	86	80	9	89	11	0	0
2003	0	0	0	0	0	0	0	73	6	0	0	0
2004	0	0	0	8	23	0	30	330	10	802	0	0
2005	9	0	0	0	0	148	10	270	24	14	23	0
2006	13	0	0	0	0	29	123	61	0	0	0	0
2007	41	171	335	0	3	682	0	36	113	321	0	0
2008	14	40	0	0	0	31	265	22	108	118	0	0
2009	0	0	0	20	22	5	113	238	13	0	0	76
moyenne	11,14	15,57	54,14	17,50	10,50	105,86	54,57	135,79	49,86	130,29	1,64	10,14
Moy. Ann.	49,75											

Tableau 11: Précipitation (période 2000-2009)

Source : Office National de la Météorologie, Tamanrasset

Orientation \ Mois	Horizontal	Verticale sud	Verticale sud-est sud-ouest	Verticale est et ouest	Verticale nord-est nord-ouest	Verticale nord
Janvier	4960	6342	5207	3461	1592	1230
Février	6026	5852	5239	4012	2129	1450
Mars	7120	4700	5047	4608	2891	1654
Avril	7440	2944	4237	4658	3528	1942
Mai	7644	2036	3648	4670	4048	1602
Juin	7222	1814	3194	4364	4040	3010
Juillet	7446	1848	3365	4476	4029	2786
Aout	7300	2353	3803	4491	3625	2098
Septembre	6564	3472	4190	4157	2887	1632
Octobre	5946	4972	4739	3903	2245	1446
Novembre	5232	6110	5135	3556	1704	1262
Décembre	4702	6332	5085	3214	1429	1166

Tableau 12: Irradiation globale des différentes orientations

Source : Capderou M. 1985

Heure \ mois	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
Janvier	11	157	363	541	670	738	738	670	541	363	156	11
Juillet	181	387	583	750	872	935	935	872	750	583	387	181

Tableau 13: Energie incidente sur le plan horizontal/heure (janvier et juillet)

Source : Capderou M. 1985

Mois \ Temp.	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Température maximale	19,8	22,00	25,23	29,50	33,00	35,30	34,80	34,30	32,80	29,50	25,20	20,80
Température minimale	4,20	6,10	9,6	13,70	17,60	21,50	21,70	21,20	19,80	15,60	11,00	6,20
Température moyenne	12,00	14,00	17,40	21,60	25,30	28,50	29,00	27,70	26,30	22,50	17,50	13,50

Tableau 14: Température de l'air (Période 1937 - 1968)

Source : O.C.I/Dubief

Mois \ Temp.	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Temp.moy. (2000-2009)	12,00	14,00	17,40	21,60	25,30	28,50	29,00	27,70	26,30	22,50	17,50	13,50
Temp.moy. (1937-1968)	13,14	15,00	19,01	23,79	27,77	29,48	30,77	29,09	28,01	23,65	18,07	14,51

Tableau 15: Température de l'air

Source : O.C.I/Dubief et Office National de la Météorologie, Tamanrasset

	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Moy.
T.max	207,14	224,14	259,93	307,93	341,21	353,64	358,71	352,64	340,00	299,43	252,43	218,57	30,13
T. min	50,36	65,21	110,43	156,36	201,64	224,93	232,57	230,36	214,93	167,79	102,64	67,64	22,60
T.moy	131,36	149,79	190,07	237,86	277,07	294,79	307,71	290,86	280,07	236,50	180,71	145,14	5,72
H.max	39,74	37,66	33,34	29,06	26,21	30,68	28,04	37,70	37,40	40,10	38,55	43,01	35,96
H.min	11,69	11,49	11,42	10,13	10,00	10,88	10,55	12,62	13,36	14,63	13,10	13,71	11,97
H moy	22,86	21,79	19,79	16,71	15,57	17,97	16,64	22,18	23,00	24,18	23,09	25,24	23,55
D.ens.	284	281	297	295	288	256	307	266	243	276	290	276	288,25
V. V.	21,20	24,02	29,34	32,03	30,93	31,18	31,44	28,56	27,04	25,69	17,90	17,26	26,38
P.	7,60	8,36	8,89	9,44	9,53	9,69	6,84	9,44	8,98	8,49	7,34	7,14	49,75

Tableau 16: données récapitulatives du climat de Tamanrasset (période 2000-2009)

Source : Office National de la Météorologie, Tamanrasset

ANNEXE 2

Analyse bioclimatique de Tamanrasset

I- Diagramme psychométrique de Tamanrasset

L'application de la méthode de Szockolay nécessite les étapes suivantes :

1- Détermination de la zone de confort (zone A):

a- Calcul de la neutralité thermique :

$$T_n = 17,6 + 0,31 T_m \dots\dots\dots 1$$

Ou : T_m = la température de neutralité

$$T_m = 22,7^\circ\text{C}$$

Donc : $T_n = 24,6^\circ\text{C}$

b- Sur le diagramme psychométrique, la température de neutralité doit être tracée sur la courbe représentant 50% d'humidité relative.

c- Les quatre points 1, 2, 3 et 4 qui déterminent la zone de confort sont tracés sur le diagramme psychométrique. Les points 1 et 2 correspondent à la ligne d'humidité absolue 12g/kg, et les points 3 et 4 sont sur la ligne d'humidité absolue 4g/kg.

La température sèche des 4 points est obtenue par les équations suivantes :

$$T_1 = T_n + (A_{h_n} - 12) \times 0,025 \times (T_n - 14) - 2 \dots\dots\dots 2$$

Ou : A_{h_n} représente l'humidité absolue du point de neutralité.

$$T_1 = 22^\circ\text{C}$$

$$T_2 = T_1 + 4 \dots\dots\dots 3$$

$$T_2 = 26^\circ\text{C}$$

$$T_3 = T_1 + 0,2 \times (T_1 - 14) \dots\dots\dots 4$$

$$T_3 = 23,6^\circ\text{C}$$

$$T_4 = T_2 + 0,2 \times (T_2 - 14) \dots\dots\dots 5$$

$$T_4 = 28,4^\circ\text{C}$$

2- Détermination de la zone de contrôle potentiel pour les périodes chaudes:

a- Zone d'effet de masse (zone B):

Cette zone est définie par les trois points 5, 6, et 7, qui sont représentés respectivement par la valeur 12,14 et 4g/kg d'humidité absolue. La température sèche de chaque point est indiquée par les équations suivantes :

$$T_5 = T_2 + 0,5 (\text{température moyenne max.} - \text{température moyenne min.}) \dots\dots\dots 6$$

$$T_5 = 31,6^\circ\text{C}$$

$$T_6 = T_5 - 0,05 \times (T_5 - 14) \dots\dots\dots 7$$

$$T_6 = 30,7^\circ\text{C}$$

$$T_7 = T_5 + 0,2 \times (T_5 - 14) \dots\dots\dots 8$$

$$T_7 = 35,12^\circ\text{C}$$

La limite d'humidité la plus élevée correspond à la courbe d'humidité relative du point 1.

b- Zone d'effet de masse avec ventilation nocturne (zone C):

Les limites de cette zone sont déterminées par les points 8, 9, et 10, qui correspondent à l'humidité absolue de 12,14 et 4g/kg. La température sèche de chaque point doit être donnée par les équations suivantes :

$$T_8 = T_2 + 0,8 \Delta T_m \dots\dots\dots 9$$

$$T_8 = 37,3^\circ\text{C}$$

$$T_9 = T_8 - 0,05 \times (T_8 - 14) \dots\dots\dots 10$$

$$T_9 = 36,14^\circ\text{C}$$

$$T_{10} = T_8 + 0,2 \times (T_8 - 14) \dots\dots\dots 11$$

$$T_{10} = 42^\circ\text{C}$$

c- Zone de ventilation naturelle (zone D et D'):

Pour déterminer cette zone S. Szockolay a suggéré deux vitesses d'air 1,5m/s. les deux valeurs sont adaptées dans cette méthode donnant deux zones de mouvement d'air. Elles sont déterminées par les points 11, 12, 13, et 14. Les points 11 et 12 correspondent respectivement à la valeur d'humidité absolue 12 et 4g/kg. Tandis que les points 13 et 14 sont localisés sur la courbe de 90% d'humidité relative.

$$\text{Pour } 1\text{m/s} : T_{11} = T_2 + 5 \dots\dots\dots 12$$

$$T_{11} = 31^\circ\text{C}$$

$$\text{Pour } 1,5\text{m/s} : T_{11} = T_2 + 6,5 \dots\dots\dots 13$$

$$T_{11} = 32,5^\circ\text{C}$$

$$\text{Pour } 1\text{m/s} : T_{12} = T_{11} + 0,1 \times (T_{11} - 14) \dots\dots\dots 14$$

$$T_{12} = 32,7^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Pour } 1,5\text{m/s } T_{12} = 34,4^{\circ}\text{C}$$

$$T_{13} = T_1 \dots\dots\dots 15$$

$$T_{13} = 22^{\circ}\text{C}$$

$$T_{14} = T_{11} - 0,025 \times (T_{11} - 14) \dots\dots\dots 16$$

$$T_{14} = 27,6^{\circ}\text{C}$$

$$T_{14} = 28,8^{\circ}\text{C}$$

d- Zone de refroidissement évaporatif direct (zone E):

La température limite la plus élevée est :

$$T_{15} = T_n + 12$$

$$T_{15} = 36,6^{\circ}\text{C}$$

Les limites supérieures et inférieures de cette zone sont tracées à partir des lignes de refroidissement évaporatif indirect (zone F).

Dans cette zone la température limite la plus haute est donnée par :

$$T_{16} = T_n + 15$$

$$T_{15} = 39,6^{\circ}\text{C}$$

La limite supérieure de cette zone correspond à la ligne 14g/kg d'humidité absolue.

II- Les tables de Mahoney

Ville Tamanrasset

Latitude 22°47'N

Longitude 05°31'E

Altitude 1377m

Table 1: Température de l'air (°C)

	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.	Valeur Max.	TAM
Moy. men. max.	21.0	22.5	26.0	31.0	34.0	35.5	36.0	35.0	34.0	30.0	25.0	22.0	36	20
Moy. men. min.	5.0	6.5	11.0	16.0	20.0	22.5	23.5	23.0	21.5	17.0	10.5	7.0	5	31
Ecart men.moy.	16.0	15.0	15.0	15.0	14.0	13.0	13.5	12.0	12.5	13.0	14.5	15.0	Val.	EAT

Min.

Table 2: Humidité relative, pluie et vent

Moyenne H.R.

Moins de 30% 1

30 à 50 % 2

50 à 70 % 3

Plus de 70% 4

H.R. (pourcentage)	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aou	Sep.	Oct.	Nov	Dec.	Total
Moyenne humidité relative. max.	40.0	38.0	33.5	29.0	26.5	31.0	28.0	38.0	37.5	40.0	39.5	43.0	597,5
Moyenne mensuelle humidité relative. min.	12.0	11.5	11.5	10.5	10.0	11.0	10.5	13.0	13.5	15.0	13.5	14.0	
Moyenne	52.0	24.75	22.5	19.75	18.25	21.0	19.25	25.5	25.5	27.5	26.25	28.5	
Groupe hygrométrique	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Précipitations (mm)	11.0	15.5	54.0	17.5	10.5	10.6	54.5	13.6	50.0	130.5	2.0	10.0	
Vent	Direction dominante	NW E	NW NW	NW NW	NW N	SE E	E SE	E SE	E SE	E SE	E SE	NW E	
	Direction secondaire	SW	NE	NE	NE	NE	W	W	SW	W	NE	NE	

Table 3: Diagnostic relatif au stress climatique :

Limites de confort		TAM Supérieure à 20°C		TAM 15-20°C		TAM Inférieure à 20°C		G.H
H. Relative (pourcentage)	G.H	Jour	Nuit	Jour	Nuit	Jour	Nuit	
0-30	1	26-34	17-25	23-32	14-23	21-30	12-21	1
30-50	2	25-31	17-24	22-30	14-22	20-27	12-20	2
50-70	3	23-29	17-23	21-28	14-21	19-26	12-19	3
70-100	4	22-27	17-21	20-25	14-20	18-24	12-18	4

Chiffres supérieurs à la limite du confort **T°** (trop chaud ou torride)

Chiffres compris entre les limites de confort..... **C** (confort)

Chiffres inférieurs à la limite du confort **F** (trop froid)

Table 3 : Diagnostic

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Groupe hygrométrique (GH)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Moy. mens. des temp. max.	21.0	22.5	26.0	31.0	34.0	35.5	36.0	35.0	34.0	30.0	25.0	22.0
Confort diurne Maximal	32.0	34.0	34.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	34.0	34.0
Minimal	23.0	26.0	26.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	26.0	26.0
Moy. mens. des temp. min.	5.0	6.5	11.0	16.0	20.0	22.5	23.5	30.0	21.5	17.0	10.5	7.0
Confort nocturne Maximal	24.0	24.0	24.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	24.0	24.0
Minimal	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
Stress thermique												
Jour	F	F	C	C	T	T	T	T	T	C	F	F
Nuit	F	F	F	C	C	C	C	C	C	C	F	F

Table 4 : Indicateurs

	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	O.	S.	O.	N.	D.	Totaux
Climat aride													
A1 Volant thermique	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	12
A2 Sommeil en plein air					✓	✓	✓	✓	✓				05
A3 Problèmes de saison froide	✓	✓	✓								✓	✓	05

Table 5 : Recommandations ayant trait à l'esquisse

Totaux indicateurs repris du tableau N° 4						Recommandations
Humide			Aride			
II 1	II-2	II-3	A 1	A 2	A 3	
			8	5	5	
						Plan masse
			0 - 10			✓ 1- Bâtiments orientés suivant un axe longitudinal et ouest afin de diminuer l'exposition au soleil
			11 ou 12		5 - 12	2- Plans compacts avec cours intérieures
					0-4	Espacements
11 ou 12						3- Grands espacements pour favoriser la pénétration du vent
2 - 10						4- comme 3, mais avec protection contre le vent froid / froid
0 ou 1						5- Plans compacts
						Circulation d'air
3 - 12						6- Bâtiments à simple orientation. Dispositions permettant une circulation d'air permanente
1 ou 2			0 - 5			7- Bâtiments à double orientation permettant une circulation d'air intermittente
			6 - 12			8- Circulation d'air inutile
0	2 - 12					Ouvertures
	0 ou 1					9- Grandes ouvertures, 40 à 80 % des façades nord et sud
			0 ou 1		0	10- Très petites ouvertures, 10 à 20 %
			11 ou 12		0 ou 1	11- Ouvertures moyenne, 20 à 40 %
			Toutes autres recommandations			✓
						Murs
			0 - 2			12- Murs de construction légère: décalage horaire de faible durée
			3 - 12			✓ 13- Murs extérieurs et intérieurs massifs
						Toitures
			0 - 5			14 Toitures légères et isolantes
			6 - 15			✓ 15- Toitures lourdes: décalage horaire supérieur à 8 heures
						Sommeil en plein air
				2 - 12		✓ 16- Nécessité d'un emplacement pour le sommeil en plein air
						Protection contre la pluie
		3-12				17- Nécessité d'une protection contre les pluies violentes

Source: Conception des habitations à bon marché et leurs équipements collectifs, volume 1
Climat et habitat- Nations unies. Tome I

ANNEXE 3

Investigation : mesure de la T° et l'H.R à l'intérieur de deux logements

Période estivale

1- Comparaison de la température extérieure et intérieure période estivale (journée du 08/07/2009)

	00.00	02.00	04.00	06.00	08.00	10.00	12.00	14.00	16.00	18.00	20.00	22.00
Temp.ext	28°C	26°C	26°C	23°C	27,5°C	32°C	34°C	36°C	35°C	34°C	33°C	30°C
Temp.int. HT.	28,2°C	27,5°C	27°C	26,2°C	26,5°C	27°C	27,6°C	28,2°C	28,8°C	29°C	29°C	28,7°C
Temp.int. HC.	32°C	31,3°C	30°C	29,3°C	29,5°C	29,8°C	30,3°C	31°C	32°C	33°C	33°C	32,7°C

2- 2- Comparaison de la température intérieure et les limites de confort

Limites inf.	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Limites sup.	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29

3- Comparaison de l'humidité relative extérieure et intérieure période estivale (journée du 08/07/2009)

	00.00	02.00	04.00	06.00	08.00	10.00	12.00	14.00	16.00	18.00	20.00	22.00
H.R. ext.	27	31	30	34	27	26	25	24	24	25	29	30
H.R. int. HT.	14	17	18	19	20	20	20	19	18	17	16	14
H.R. int. HC.	19	19	18	17	16,5	16	15	15	15,5	16	18,5	

Période hivernale

1- Comparaison de la température extérieure et intérieure période hivernale (journée du 10/01/2009)

	00.00	02.00	04.00	06.00	08.00	10.00	12.00	14.00	16.00	18.00	20.00	22.00
Temp.ext	09°C	08°C	08°C	07°C	09,5°C	15°C	18°C	20°C	18°C	16°C	14°C	12°C
Temp.int. HT.	14,2°C	13,8°C	13,4°C	13,2°C	13,5°C	13°C	13,5°C	14°C	14,6°C	14,5°C	14,5°C	14,5°C
Temp.int. HC.	16°C	14,5°C	14°C	13,5°C	13,5°C	14°C	15°C	17°C	18,5°C	18°C	17,5°C	17°C

2- Comparaison de la température extérieure et limites de confort période hiver 2009

Tableaux 1+ tab 2

Limites inf.	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Limites sup.	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

3- Comparaison de l'humidité relative extérieure et intérieure période estivale (journée du 10/01/2009)

	00.00	02.00	04.00	06.00	08.00	10.00	12.00	14.00	16.00	18.00	20.00	22.00
H.R. ext.	28	32	35	34	30	25	25	22	22	22	24	27
H.R. int. HT.	42	44	46	47	48	47	45	43	37	39	37	40
H.R. int. HC.	35	35	37	39	39	38	33	30	27	30	31	32

H.R. moy.= 27,16

Valeurs de l'humidité relative des journées mesurées (période 7/07 au 13/07/2009)

Humidité relative		Jours		7	8	9	10	11	12	13
H.R. Minimale (%)	Extérieure			21	23	23	11	18	20	20
	Intérieure	Tradi		13	15	15	14	12	15	14
		Cont.		18	18	16	15	21	22	20
H.R. Maximale (%)	Extérieure			30	34	29	31	31	29	29
	Intérieure	Tradi.		20	20	19	17	20	20	17
		Cont.		26,5	29	27,5	28	26	26,5	26,5
H.R. Moyenne (%)	Extérieure			25,5	28,5	26	26	24,5	24,5	24,5
	Intérieure	Tradi.		16,5	17,5	17	15,5	16	17,5	15,5
		Cont.		24,25	23,5	22	21,5	23,5	24,25	23,25

H.R. moyenne
25,64%

Températures de l'air des journées mesurées (période 07/07 au 13/07/2009)

Température		Jours		7	8	9	10	11	12	13
Température Minimale (°c)	Extérieure			23	27	26	23	23	24	26
	Intérieure	Tradi		24	26	25	25	23	23	23,5
		Cont.		30	32	31	30	32	32	32
Température Maximale (°c)	Extérieure			35	36	34	35	36	36	36
	Intérieure	Tradi.		27	28	28	27	26	26	25,5
		Cont.		33	34	32	33	34	34	33
Température Moyenne (°c)	Extérieure			29	31,5	30	29	29,5	30	31
	Intérieure	Tradi.		25,5	27	26,5	26	24,5	24,5	23
		Cont.		31,5	33	31,5	31,5	33	33	32,5
Amplitude (°c)	Extérieure			12	9	8	12	13	12	10
	Intérieure	Tradi.		03	02	03	02	03	03	02
		Cont.		03	02	01	03	02	02	01

Limite de confort
25-29°C

Valeurs de l'humidité relative des journées mesurées (période 09/01 au 15/01/2009)

Humidité relative		Jours		7	8	9	10	11	12	13
H.R. Minimale (%)	Extérieure			12	14	19	20	16	15	15
	Intérieure	Tradi		18	20	20	19	20	20	20
		Cont.		27	27	26	31	30	31	30
H.R. Maximale (%)	Extérieure			32	36	31	33	35	32	32
	Intérieure	Tradi.		27	27	29	31	31	32	33
		Cont.		32	32	34	35	33	32	33
H.R. Moyenne (%)	Extérieure			22	25	25	26	25,5	23,5	23,5
	Intérieure	Tradi.		23,5	23,5	24,5	25	25,5	28	26
		Cont.		29,5	29,5	30	33	31,5	31,5	31

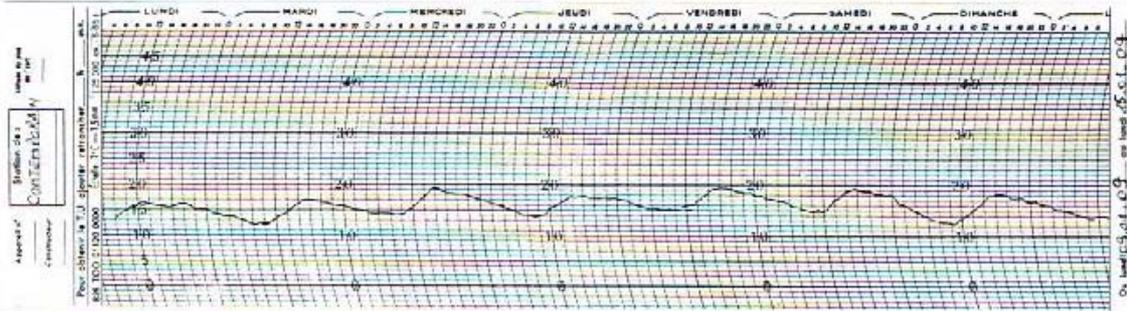
Températures de l'air des journées mesurées (période 09/01 au 15/01/2009)

Température		Jours		09	10	11	12	13	14	15
Temp Max. (°c)	Extérieure			22	20	20	22	21	18	19
	Intérieure	Tradi		13	13	14,5	15	13,5	13,5	14,5
		Cont.		16	16,5	18,5	17	19	19	18
Température Minimale (°c)	Extérieure			07	07	07	07	05	05	05
	Intérieure	Tradi.		12	12	12,5	13	13,5	11,5	11
		Cont.		12	13	14	15	14	12	12
Température Moyenne (°c)	Extérieure			14,5	13,5	14	14,5	13	13	13,5
	Intérieure	Tradi.		12,5	12,5	13,5	14	13	12,5	12,5
		Cont.		13,5	14,75	16,25	16	16,5	15,5	15
Amplitude (°c)	Extérieure			16	13	12	15	16	14	15
	Intérieure	Tradi.		01	01	01,5	01,5	01	01	01
		Cont.		03	03,5	04,5	02	05	07	06

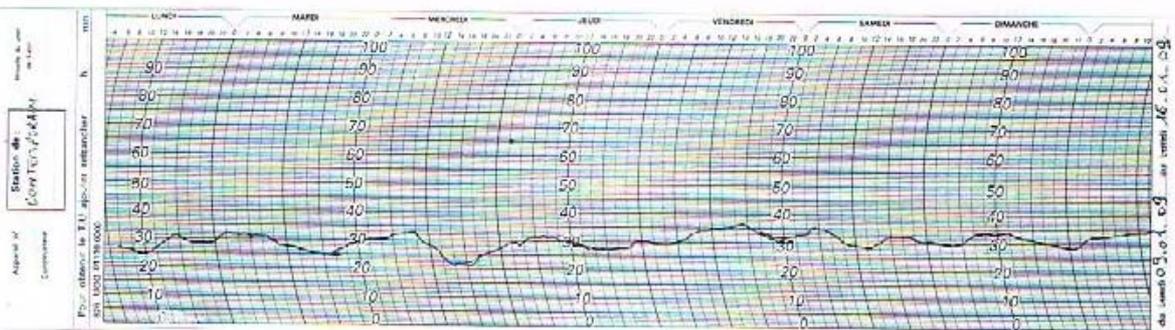
Temp. moyenne
13,7°C

I- Résultats des mesures de la température et l'humidité relative période hivernale

1- Habitat contemporain

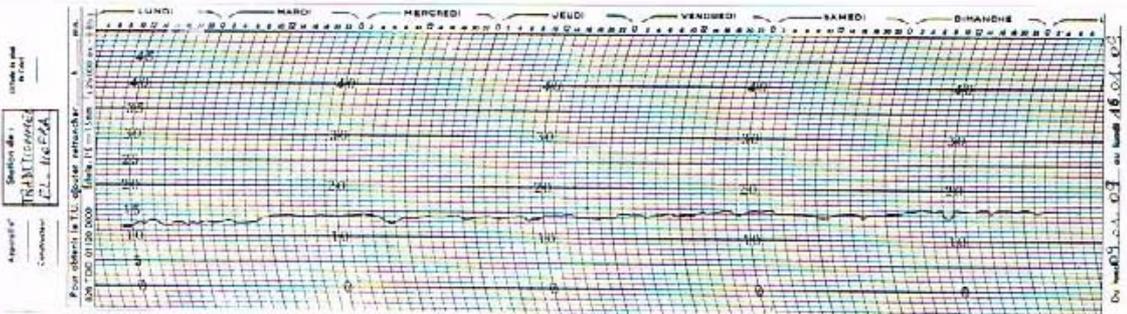


a- Température

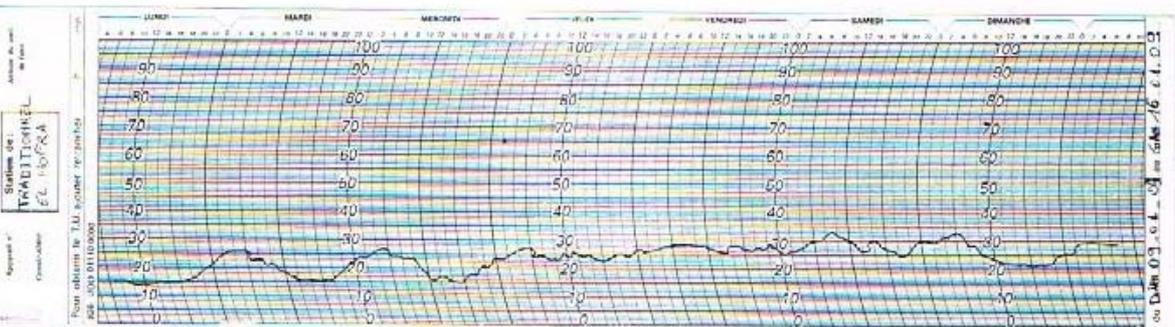


b- Humidité relative

2- Habitat traditionnel



c- Température

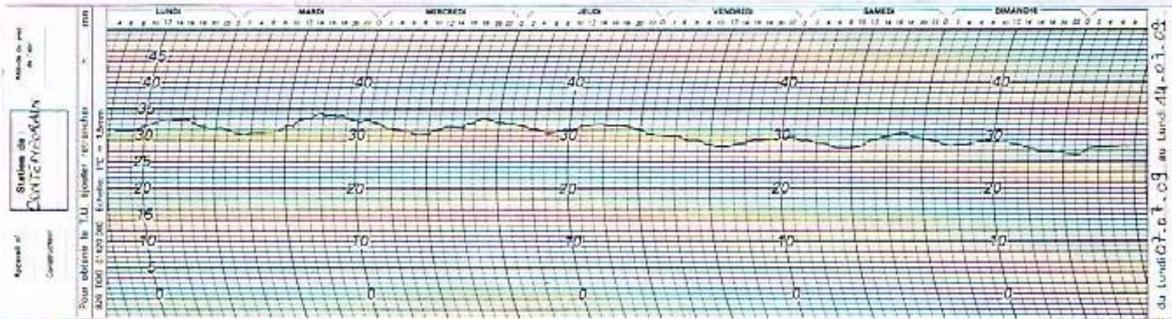


d- Humidité relative

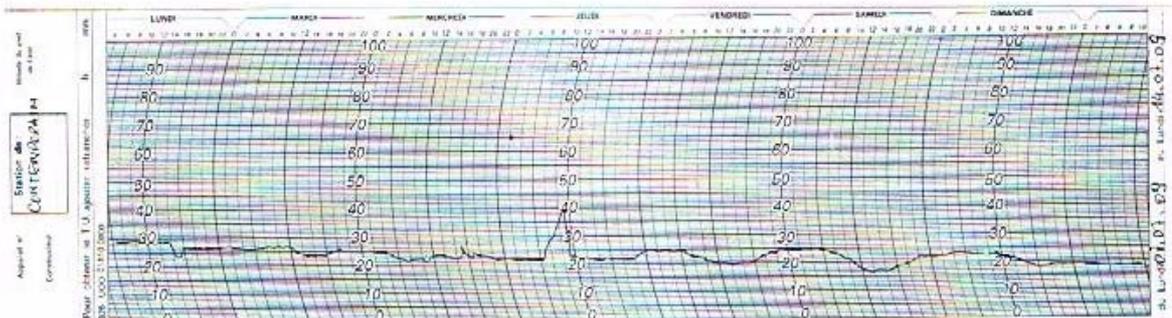
Figure III-1 : mesures de la température et l'humidité relative Période du 09-01-2009 au 16-01-2009

II- Résultats des mesures de la température et l'humidité relative période estivale

1- Habitat contemporain

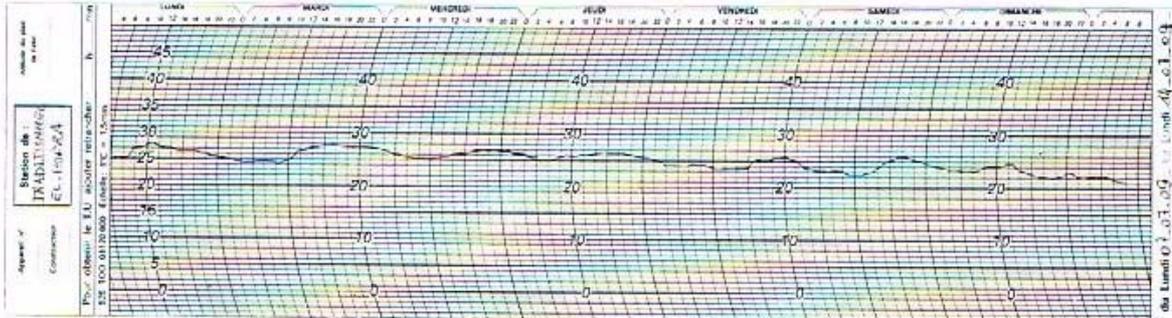


a- Température

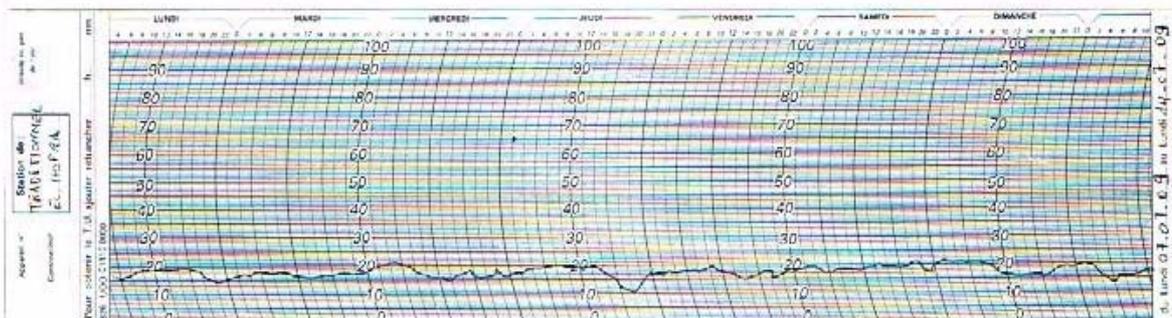


b- Humidité relative

2- Habitat traditionnel



c- Température



d- Humidité relative

Figure III-2 : mesures de la température et l'humidité relative Période du 07-07- 2009 au 13-04-2009

ANNEXE 4

Evaluation de la température intérieure Les tableaux des valeurs utilisés lors de la simulation thermique

Type d'activité	Apports d'enthalpie (Métabolisme) W/Per.	Température sèche du local (°C)					
		25		27		29	
		Chaleur sens.	Hum.	Chaleur sens.	Hum.	Chaleur sens.	Hum.
Assis au repos (salles de spectacles)	114	67	66	59	80	45	98
Assis, travail léger ou debout au repos (hôtels, locaux scolaires, appartements)	128	70	85	60	101	46	112
Assis travail modéré - travail de bureau - travail d'assemblage, de couture	145	72	110	61	127	40	147
Debout travail modéré - travail de montage - magasins, banques - mécanicien radio	174	73	156	61	175	48	200

Enthalpie [Watt / personne] Humidité: [g / h, personne].

Tableau 1: Extrait du tableau apports dus aux occupants

Source: Porcher (G), 1987

Type de luminaires	Rayonnement		Convection et conduction par le support
	lumineux	infrarouge	
à incandescence	10 [%]	70 [%]	20 [%]
à fluorescence (1)	20 [%]	30 [%]	50 [%]

Tableau 2: Proportions de chaleur émises par convection et rayonnement par les divers types de luminaires

Source: Porcher (G), 1987

Heure solaire	Climat moyen Brumeux =-0,70					climat clair =-0,75				
	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12
Altitude	16	15	14	13	12	16	15	14	13	12
500m	1,04	1,03	1,03	1,03	1,02	1,04	1,03	1,02	1,02	1,02
1000m	1,09	1,06	1,06	1,05	1,05	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04

a : K_1 coefficient de correction pour tenir compte du climat et de l'altitude

Epaisseur de la vitre en (mm)	3	4	6	8	10	12	15
Coefficient " K2 "	1,00	0,96	0,93	0,88	0,75	0,67	0,57

b : K_2 coefficient de correction pour tenir compte de l'épaisseur de la vitre

Tableau 3 (a et b): valeurs de K_1 et K_2 (coefficient de correction)

Source: Porcher (G), 1987

h.s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Δh	0,82	0,9	0,95	1	0,98	0,94	0,86	0,76	0,63	0,48	0,32	0,18

h.s	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Δh	0,07	0,02	0	0,01	0,07	0,15	0,25	0,37	0,51	0,58	0,65	0,7

Tableau 4: apports par transmission

Source:

Porcher (G), 1987

ملخص

نظرا للنمو الديمغرافي الكبير الذي تعرضت له المدن الصحراوية في الآونة الأخيرة، بسبب تحضير البدو الرحل و كذا الهجرة من الشمال نحو الجنوب و لمواجهة هذا الضغط، عرفت مدينة تمنراست كباقي مدن الجنوب حركة و توسع عمراني غير مسبوق أدى إلى تغيير طابعها المعماري القديم الذي يمتاز بتأقلم العمارة مع محيطها الخارجي و خاصة المناخ الحار.

بسبب نمطها المعماري الجديد، أحدثت العمارة المعاصرة انفصالا عن البناية القديمة مما أثر سلبا على طابعها المعماري الذي فقد خصوصيته و هويته و أصبح غير قادر على أداء وظيفته الأساسية ألا و هي توفير الرفاهية الحرارية للسكان، أجبرهم على اللجوء إلى استعمال المكيفات الهوائية للحصول على الرفاهية اللازمة و خلق مناخ متوازن داخل المسكن.

لقد أثبتت الإحصائيات أن اللجوء إلى تزويد المباني بالأجهزة الميكانيكية في تزايد مستمر، الأمر الذي يؤدي إلى استهلاك معتبر للطاقة الغير المتجددة.

لذا تهدف هذه الدراسة لإبراز أسباب عدم تكيف العمارة الحديثة مع مناخ المنطقة، هذه الأخيرة التي أهملت في تصميمها المعايير المعمارية، سواء منها ما يتعلق باظروف المناخية و المحيط أو الهوية الثقافية المستنبطة من البنايات التقليدية التي أثبتت توافقها مع المناخ و بالتالي وفرت الراحة البسيكولوجية و البدنية لمستعملي الفضاء.

بالإعتماد على طريقة المقارنة بين البناية القديمة و الحديثة إستخرجنا حلول و تصاميم تتماشى مع ما يقتضيه الإقتصاد و المحيط و التنمية المستدامة.

تعرضت النقطة الأولى من هذا العمل إلى إبراز المميزات الفيزيائية و العناصر الإنشائية التي تسمح للبناية بالمقاومة ضد التأثيرات المناخية كالعطالة الحرارية و عناصر الحماية و الظل الخ.

تلتها دراسة تحليلية لعناصر مناخ تمنراست و كذا دراسة بيومناخية مدققة لتعيين و تحديد منطقة الرفاهية الحرارية الخاصة بمناخ المدينة موضوع البحث.

كما اعتمدت هذه الدراسة على طريقة العمل التطبيقي، حيث التجأنا إلى ثلاثة وسائل

للتحليل:

- طريقة القياسات لدرجة الحرارة و الرطوبة النسبية داخل عينتين، تم اختيارهما من الطراز القديم و الحديث.
 - نظرا لأهمية ميزتي التوصيلية الحرارية و انتشار الحرارة في إعداد الموازنة تم تقييم هذه الصفات بواسطة أجهزة تجريبية سمحت بإجراء مقارنة بين المميزات الحرارية لمواد البناء القديمة (المحلية) و الحديثة المستعملة في عمارة تمنراست.
 - في النهاية، و اعتمادا على برنامج بالإعلام الآلي، تم إظهار الوضعية الحرارية من خلال حسابات و بيانات تمثل الحد الأدنى للتوازن الحراري خلال فصل الصيف.
- لقد سمحت لنا هذه الخطوة من اتخاذ التدابير الواجب القيام بها أثناء المراحل الأولى في التصميم لتعديل و تحسين شروط الرفاهية الحرارية في المساكن المعاصرة.

ABSTRACT

The demographic pressure as well as the nomadic settlements led to an important urban growth in southern Algerian cities during last decades. The new urban areas built according to normative and universal standards led to a break with traditional ksours which seem to be more appropriate to this particular environment, especially from a climatic point of view. Designed solely according to quantitative criteria, the new housing stock did not satisfy to the thermal comfort conditions, especially in the difficult climatic context of a city like Tamanrasset which is used as a case study in this research work.

Statistics show a considerable increase in the use of air conditioning devices leading to an increase in energy consumption.

The main objective of this research work is to pinpoint the poor climatic integration of these newly built urban areas from both economic and comfort point of view.

This will be done through a comparison with ancient built areas which were designed according to a traditional knowledge that was able to meet the comfort standards in very hard climatic conditions of such areas.

This comparative approach intends to draw out architectural passive solutions able to meet environmental and economic requirements of a sustainable growth: reducing massive use of fossil energy, reducing the use of greenhouse effect gas...

The first part of this work examines the different kinds of thermal behavior of a dwelling as well the different architectural factors viewed to control them: solar protection, inertia, internal thermal intake control...

Then, a climatic analysis of the city of Tamanrasset is carried out in order to specify the comfort zone and to choose the most appropriate architectural solutions.

The comparative study between traditional and new housing enabled the bringing out of the physical features and the evaluation from a thermal point of view of those two types of dwellings as regards to the climatic context of the city of Tamanrasset.

The experimentation-based quantitative approach enabled evaluating the thermal response of various architectural parameters. This stage uses three tools:

A field research was carried out to measure temperatures and relative hygrometry for the dwelling used as samples. Due to the importance of both thermal conductivity and diffusivity in designing the balance sheet thermal, an experimental setting was used to evaluate them. This enabled a comparison between new and traditional building materials used in Tamanrasset in terms of thermal and physical features.

Finally, using a computing thermal simulation, several specific parameters of the built-environment were tested during the hot period. Some improvements applied to the case study gave significant lowering in temperature.