



**UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA**  
**FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES**  
**DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES**

N° d'ordre :  
N° de série :

## **Thèse**

Présenté pour l'obtention du diplôme de

## **DOCTORAT**

**Spécialité : Génie des procédés**  
**Option : Génie des procédés**

Présenté par:

**Nadia SAIFI**

## **Thème**

**CONTRIBUTION A LA CONCEPTION DES BATIMENTS A FAIBLE  
CONSOMMATION D'ENERGIE DANS LES ZONES ARIDES**

*Soutenu publiquement le : 06/01/2016*

*Devant le jury composé de :*

<b>Hamza BOUGUETTAIA</b>	<b>Professeur</b>	<b>Université Kasdi Merbah Ouargla</b>	<b>Président</b>
<b>Abdelghani BOUBEKRI</b>	<b>Professeur</b>	<b>Université Kasdi Merbah Ouargla</b>	<b>Examineur</b>
<b>Belkacem DRAOUI</b>	<b>Professeur</b>	<b>Université Béchar</b>	<b>Examineur</b>
<b>S.M.A BEKKOUCHE</b>	<b>Maitre de recherche</b>	<b>URAER</b>	<b>Examineur</b>
<b>Noureddine SETTOU</b>	<b>Professeur</b>	<b>Université Kasdi Merbah Ouargla</b>	<b>Encadreur</b>

Année universitaire : 2015/2016

# Remerciements

Tout d'abord, je remercie **ALLAH**, le Tout Puissant, de m'avoir donné le courage et la volonté pour accomplir ce travail de recherche.

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à mon directeur de thèse Monsieur **Noureddine SETTOU**, professeur et chercheur au Laboratoire VPRS à l'université de Kasdi Merbah Ouargla pour m'avoir accueilli au sein de son équipe, pour les directives et conseils qu'il m'a donnés jusqu'à l'aboutissement de ce travail. Sa compétence, sa rigueur scientifique et sa clairvoyance m'ont beaucoup appris. Ils ont été et resteront des moteurs de mon travail de chercheur.

Mes remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail, et en particulier :

Monsieur **Hamza BOUGUETTAIA**, Professeur à l'université de Kasdi Merbah Ouargla, de m'avoir fait l'honneur de présider mon jury de thèse.

Monsieur **Abdelghani BOUBEKRI**, Professeur à l'université de Kasdi Merbah Ouargla d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Monsieur **Belkacem DRAOUI**, Professeur à l'université de Béchar pour avoir accepté d'être examinateur de ce travail.

Monsieur **Sidi Mohammed El Amine BEKKOUCHE**, Maître de Recherche à l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables de Ghardaïa, pour avoir accepté d'être examinateur de ce travail.

Un grand merci à toute ma famille, qui m'a toujours encouragé, qui a su me soutenir à chaque moment et à qui je dois tout.

Je tiens à remercier enfin tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail.

## Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à :*

*A mes très chers parents .Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour*

*Dont ils ne cessent de me combler.*

*Tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte,  
ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour tous les efforts et les sacrifices  
que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien-être.*

*Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.*

*A la mémoire de ma grand-mère*

*Que Dieu le tout-puissant nous donne la force pour supporter ton absence, toi qui  
nous a tant aimées et tant donné.*

*J'espère avoir répondu aux espoirs que vous avez fondés en moi et réalisé  
aujourd'hui l'un de vos rêves*

*A mes sœurs : Hasnia et Imane*

*Et mes frères : Baghdad, Boualem, Djillali et Fouzi*

*Qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de  
générosité.*

*A mon oncle et ma tante*

*A tous mes amis Qui mon toujours soutenus et encourager et que J'ai de la chance  
d'avoir Merci pour votre amitié qui compte énormément pour moi.*

# Sommaire

	Page
Nomenclature	i
Listes des figures	v
Liste des tableaux	x
Introduction générale	01
<b>Chapitre 1: Contexte énergétique dans le bâtiment</b>	
1.1. Introduction	08
1.2. notion d'économie d'énergie	08
1.3. Consommation Mondiale de l'énergie	09
1.4. contexte énergétique en Algérie	10
1.5. Consommation énergétique en Algérie	14
1.6. Consommation énergétique en Algérie par secteur	15
1.7. Consommation énergétique dans le secteur ménager en Algérie	16
1.8. Consommation du gaz naturel et d'électricité	17
1.9. Climat et énergie en Algérie	18
1.9.1. Zones climatiques en Algérie	18
1.10. Méthode de Dégrer-jours	19
1.11. Réglementation thermique algérienne et les expériences étrangères	20
1.11.1. Réglementation Algérienne	21
1.11.2. Réglementation Tunisienne	23
1.11.3. Réglementation Marocaine	23
1.11.4. Réglementation dans le monde	24
1.12. Conclusion	26
<b>Chapitre 2: Confort thermique et habitat</b>	
2.1. Introduction	28
2.2. Notion de confort	28
2.3. Confort respiratoire	28
2.4. Confort visuel	30
2.5. Confort acoustique	32
2.6. Confort thermique	32
2.6.1. Définition du confort thermique	33
2.6.2. Sensation et le confort	34
2.6.2.1. Aspect physiologique : la thermorégulation	34
2.6.2.2. Aspect physique : les échanges de chaleur	34
2.6.2.3. Aspect psychologique : sensation thermique	35
2.6.3. Facteurs du confort thermique	35
2.6.3.1. Facteurs climatiques environnementaux	35
2.6.3.2. Application à la ville de Ouargla	37
2.6.3.3. Facteurs liés à l'individu	38
2.6.3.4. Indice de confort thermique	40
2.6.3.5. Les échanges thermiques du corps humain	42
2.6.4. Diagramme bioclimatique	45
2.6.4.1. Diagramme bioclimatique d'Olgay	46



2.6.4.2. Diagramme bioclimatique de Givoni	47
2.6.4.3. Diagramme bioclimatique de S. Szokolay	48
2.6.4.4. Tableaux d'analyse bioclimatique de Mahoney	49
2.7. Conclusion	49

### **Chapitre 3: Etat de l'art des bâtiments à basse consommation d'énergie.**

3.1. Introduction	52
3.2. Habitat traditionnel	52
3.3. Matériaux de construction	53
3.4. Techniques et matériaux de construction en zone arides	54
3.4.1 Matériaux traditionnels	54
3.5. Facteurs liés à la conception	55
3.5.1. Inertie de l'enveloppe	55
3.5.2. Orientation	56
3.5.3. Morphologie de l'habitat	58
3.6. Les solutions bioclimatiques	59
3.6.1. Cheminée solaire	59
3.6.1.1. Effet de cheminée	59
3.6.1.2. Principe d'écoulement	60
3.6.1.3. Modes d'opérations d'une cheminée solaire	60
3.6.1.4. Types de cheminée solaire	61
3.6.2. Echangeur air-sol.	66
3.6.2.1. Principe de fonctionnement de l'échangeur air-sol	68
3.6.2.2. Les Modes de fonctionnement d'un échangeur air-sol	69
3.6.2.3. Caractéristiques des principaux composants de l'échangeur air-sol	70
3.6.2.4. Emplacement d'un échangeur air-sol	75
3.6.2.5. Les avantages d'un échangeur air-sol	75
3.6.2.6. Les inconvénients d'un échangeur air-sol	76
3.6.3. Historique murs végétalisés	76
3.6.4. Formes de végétalisation des espaces au contact et sur les bâtiments	78
3.6.4.1. Végétalisation des transitions rue- bâtiments	78
3.6.4.2. Végétalisation des cours et patios	79
3.6.4.3. Verdissement des fenêtres	79
3.6.5. Morphologie : types et formes de feuilles	80
3.6.6. Murs végétalisés	81
3.6.6.1. Maintenance des murs végétalisés	82
3.6.6.2. Les avantages des murs végétalisés	82
3.6.6.3. Les inconvénients des murs végétalisés	83
3.6.7. La toiture végétalisés	84
3.6.7.1. Intérêt écologique et sanitaire	85
3.6.7.2. Impacts techniques	87
3.6.7.3. Impact paysager	88
3.6.7.4. Impact sur la santé	88
3.6.7.5. Impact social	88
3.7. Efficacité énergétique dans le bâtiment	88
3.7.1 Classification des bâtiments a efficacités énergétiques	88
3.7.2 Bâtiment à Basse Consommation Energétique	89
3.7.3 Bâtiments passifs	89

3.7.4. Bâtiments à énergie positive	90
3.8. Programme national des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique	90
3.8.1. Mesures concernant l'habitation	91
3.9. Conclusion	93

## Chapitre 4: Étude numérique et expérimentale de la ventilation naturelle

4.1. Introduction	96
4.2. Cheminée solaire	96
4.2.1. Description du dispositif expérimental	96
4.2.2. Les constituants d'une cheminée solaire	97
4.2.2.1. Couverture transparente (vitre)	97
4.2.2.2. Absorbeur	98
4.2.2.3. Lame d'air	99
4.2.2.4. Isolation des parois	99
4.2.2.5. Coffre ou le cadre	99
4.2.3. Principe de fonctionnement de la cheminée solaire	100
4.2.3.1. Bilan thermique de la cheminée solaire	101
4.2.3.2. les différents quantités du rayonnement dans la cheminée solaire	101
4.2.4. Appareillages de mesures	102
4.2.4.1. Mesure du rayonnement solaire	103
4.2.4.2. Mesures des températures	103
4.2.4.3. Mesure de la vitesse de l'air et du débit volumique	104
4.2.4.4. Mesure de la température ambiante	104
4.2.5. Analyse et interprétation des résultats expérimentaux	105
4.2.5.1. Variation du rayonnement global	105
4.2.5.2. Evolution des différentes températures et le rayonnement Solaire	105
4.2.5.3. Effet du rayonnement sur les températures d'absorbeur et de vitre	106
4.2.5.4. Etude comparative de l'épaisseur de la cheminée et de L'inclinaison	107
4.2.6. Les modèles physiques	108
4.2.6.1. Cheminée solaire	108
4.2.6.2. Pièce munie d'une cheminée	109
4.2.7. Les hypothèses	110
4.2.8. Les équations régissant	110
4.2.8.1. Equation de continuité	110
4.2.8.2. Equation de conservation de quantité de mouvement	111
4.2.8.3. Equation de conservation de l'énergie	112
4.2.8.4. Equation de l'énergie cinétique turbulente	112
4.2.8.5. Equation de taux de dissipation	112
4.2.9. Les conditions aux limites	113
4.2.10. Choix du maillage	114
4.2.11. Les expressions des paramètres physiques de l'air	116
4.2.12. Organigramme de calcul	116
4.2.13. Résultats et discussions	117
4.2.13.1. Cheminée solaire	117
4.2.13.2. Application de la cheminée sur la pièce	124
4.3. L'échangeur air-sol	131
4.3.1. Présentation expérimentale du cas étudié	131

4.3.2. Le modèle physique	132
4.3.3. Les hypothèses	132
4.3.4. Les équations régissantes	133
4.3.4.1 .Equation de continuité	133
4.3.4.2 .Equation de conservation de quantité de mouvement	133
4.3.4.3 .Equation de conservation de l'énergie	133
4.3.4.4 .Tableau récapitulatif des principales lois de conservation	134
4.3.4.5. Forme adimensionnel des équations	135
4.3.4. Les nombres adimensionnels	136
4.3.5. Les modèles de turbulence	137
4.3.6. Les conditions aux limites	139
4.3.7. Choix du maillage	139
4.3.8. Résultats et discussions	141
4.3.8.1. La validation du modèle échangeur air-sol	141
4.3.8.2. Dimensionnement de l'échangeur air-sol pour la région de Ouargla	143
4.4. Conclusion	157
<b>Chapitre 5: Impact de la végétation sur le confort thermique des bâtiments</b>	
5.1. Introduction	160
5.2. Etude expérimentale	161
5.2.1. Description du dispositif expérimental	161
5.2.2. Différents étapes de constructions des cellules	161
5.2.2.1. Préparation de ferrailage	161
5.2.2.2.Collages	162
5.2.2.3. Emplacement de fenêtre et de porte	162
5.2.2.4.Ferrailage et collage de la dalle	163
5.2.3. Mur végétal	163
5.2.3.1.Choix des plantes	163
5.2.4. Toiture végétalisée	164
5.2.4.1. Description de toiture végétalisées	164
5.2.4.2. Plante de toiture	165
5.3. Les hypothèses proposées	165
5.4. Critère de choix des échantillons	166
5.5. Simulateur solaire	167
5.6. Choix de la période de mesure et son déroulement	168
5.7. Intensité de ronnement du simulateur solaire	168
5.8. Description du système d'acquisition	169
5.9. Résultats et discussion	172
5.9.1. Effet de l'utilisation de Mur végétal	172
5.9.1.1. Etude comparative entre la cellule " A " et la cellule " B "	172
5.9.1.2. Etude comparative entre la cellule " A ", "B" et la cellule " C "	176
5.9.1.3. Effet de rapport de couverture des plantes dans la cellule "C"	179
5.9.2. Effet de l'utilisation de toiture végétal	181
5.9.2.1. Etude comparative entre la cellule " A " et la cellule " D "	181
5.9.3. Mur avec toiture végétale	184
5.9.3.1. Etude comparative entre la cellule " A " et la cellule " E "	184
5.10. Conclusion	188
<b>Chapitre 6: Contribution de la morphologie des bâtiments sur le confort thermique</b>	
6.1. Introduction	191

6.2. Impact du climat sur la forme des maisons	191
6.3. La forme des bâtiments dans les climats chauds et arides	196
6.4. L'orientation dans le climat chaud et arides	201
6.5. Description du travail	202
6.5.1. Les formes de l'enveloppe proposées pour l'étude	202
6.5.2. Les critères suivis dans le choix	203
6.5.3. Les régions choisies pour la simulation	203
6.5.3.1. Ouargla	203
6.5.3.2. Béchar	206
6.6. Hypothèses de travail	208
6.7. Étapes de l'analyse	209
6.8. Description de la méthode de degré-jour	210
6.9. Calcul et analyse des coûts	211
6.10. Resultat et discussion	212
6.11. Calcul des paramètres de méthode de degré-jour	212
6.11.1. Coefficient global de transfert thermique	212
6.11.2. Facteur d'actualisation	213
6.11.3. Influence du facteur forme sur la consommation énergétique annuelle en climatisation	213
6.11.3.1. Forme rectangulaire "Modèle 1"	213
6.11.3.2. Forme L "Modèle 2"	216
6.11.3.3. Forme T "Modèle 3"	218
6.11.3.4. Forme PLUS "Modèle 4"	219
6.11.3.5. Forme U "Modèle 5"	220
6.11.3.6. Forme Z "Modèle 6"	222
6.12. Influence du facteur forme sur la consommation énergétique annuelle en climatisation pour la ville de Ouargla ( les six formes architecturales)	223
6.13. Influence du facteur forme sur la consommation énergétique annuelle en climatisation pour la ville de Béchar ( les six formes architecturales)	224
6.14. Influence du facteur forme sur la consommation énergétique annuelle en climatisation pour la ville de Ouargla et la ville Béchar ( les six formes architecturales)	225
6.15. Influence du facteur forme sur le coût énergétique annuelle de la climatisation	228
6.16. Influence du facteur forme sur le coût de construction	231
6.17. Conclusion	232
<b>Chapitre 7: intégration des solutions bioclimatique</b>	
7.1. Introduction	234
7.2. Méthodologie de conception d'archétypes bioclimatique	234
7.3. Description des archétypes	236
7.3.1. La ville de Béchar	236
7.3.1.1. Archétype A et Archétype B	236
7.3.1.2. Intégration des solutions bioclimatique dans l'archétype A	238
7.3.1.3. Intégration des solutions bioclimatique dans l'archétype B	241
7.3.2. La ville de Ouargla	243
7.3.2.1. Archétype A et Archétype B	243
7.3.2.2. Intégration des solutions bioclimatique dans l'archétype A	245
7.3.2.3. Intégration des solutions bioclimatique dans l'archétype B	247
7.3.3. Comparaison de la consommation énergétique entre les deux villes	250

7.3.3.1. Ville de Béchar	250
7.3.3.2. Ville de Ouargla	250
7.4. Conclusion	251
Conclusion générale	253
Bibliographie	258
Annexe	269

## Nomenclature

### *Normales*

$A_e$	Amplitude des variations de température	[K]
$A$	Section du conduit	[m <sup>2</sup> ]
ACH	Taux de renouvellement d'air	[vol /h]
$C$	Coefficient de compressibilité isotherme	[Pa <sup>-1</sup> ]
$c_p$	Capacité calorifique massique	[J/kg.K]
$D$	Diamètre de conduite	[m]
$E$	Energie totale	[J]
$F$	Forces volumiques	[N/kg]
$g$	Accélération de la pesanteur	[m/s <sup>2</sup> ]
$h$	Coefficient d'échange convectif	[W/m <sup>2</sup> . K]
$K$	Energie cinétique turbulente	-
$k$	Conductivité thermique	[W/m K]
$k$	Rugosité	[m]
$L$	Longueur	[m]
$M$	Nombre de Mach	-
$p$	Pression	[Pa]
$P$	Puissance	[W]
$Q_v$	Débit volumique	[m <sup>3</sup> /s]
$r$	Constante des gaz parfaits	[J/kg °k]
$S$	Surface d'échange	[m <sup>2</sup> ]
$t$	Temps	[s]
$T$	Température	[K]
$V$	Vitesse d'écoulement	[m/s]
$Z$	Profondeur	[m]
$V$	Volume habitable	[m <sup>3</sup> ]
$C_f$	Coefficient de forme	[m <sup>-1</sup> ]
$E$	Epaisseur	[mm]
$\rho$	Densité	[kg/m <sup>3</sup> ]
$C_p$	Chaleur massique	[J/kg. K]
$K$	Conductivité thermique	[W/m. °C]
$\alpha$	Coefficient d'absorption	-

$G$	Energie solaire incidente	
$Q_i$	le flux de chaleur entre l'extérieur et l'intérieur	[W/m <sup>2</sup> ]
$h$	le coefficient de transfert de chaleur par convection	[W/m <sup>2</sup> K]
$Q_c$	Flux de chaleur	[kWh/m <sup>2</sup> ]
$R_i$	la résistance thermique	[K m <sup>2</sup> /W]
$E_c$	besoin annuel en climatisation,	[kWh/m <sup>2</sup> ]
$COP$	coefficient de performance du système de climatisation	
$C_e$	coût d'électricité	[\$/ kWh]
$PWF$	facteur d'actualisation	
$N$	Durée de vie	
$r$	Taux d'actualisation	[%]
$i$	Taux d'intérêt	[%]
$g$	Taux d'inflation	[%]
$N^{bre}$	nombre d'heures	
$Hrs$		

### ***Lettres Grecques***

$\alpha$	Diffusivité thermique	[m <sup>2</sup> /s]
$\beta$	Coefficient de dilatation isobare	
$\delta(\omega)$	Profondeur de pénétration d'un signal de température de pulsation	[m]
$\varepsilon$	Taux de dissipation de l'énergie cinétique	
$\lambda$	Coefficient de perte de charge régulière	
$\eta$	Rendement	
$\mu$	Viscosité dynamique	[Kg/m.s]
$\mu_t$	Viscosité dynamique turbulente du fluide	
$\nu$	Viscosité cinématique	[m <sup>2</sup> /s]
$\xi$	Coefficient de perte de charge singulière	-
$\rho$	Masse volumique	[Kg/m <sup>3</sup> ]
$\tau_{ij}$	Tenseur des contraintes	-
$\Phi$	Terme de dissipation visqueuse	-
$\omega$	Pulsation des variations de température	[rad/s]
$\varphi_e$	Déphasage	[rad]
$\varphi$	Flux thermique	[W]
$\Delta p$	Pertes de charge régulière	[Pa]
$\Delta p_s$	Perte de charge singulière	[Pa]

$\tau_g$	Coefficient de transmission de la vitre
$\alpha_g$	Coefficient d'absorption de la vitre
$\rho_g$	Coefficient de réflexion de la vitre
$\varphi_s$	Puissance stockée
$\varphi_u$	Puissance utile
$\varphi_p$	Puissance perdue
$\varphi_a$	Flux solaire absorber
$\varphi_u$	Puissance utile
$Q_t$	Energie solaire transmise
$Q_r$	Energie solaire réfléchie
$Q_a$	Energie solaire absorbée
$Q_t$	Energie solaire transmise
$Q_{ab}$	L'énergie absorbée par l'absorbeur
$\alpha_w$	coefficient de réflexion de l'absorbeur
$\varepsilon_g$	émissivité de la vitre

### ***Nombres adimensionnels***

Re	Nombre de Reynolds
Pr	Nombre de Prandtl
Pe	Nombre de Péclet
Nu	Nombre de Nusselt

### ***Indices et exposants***

x, y, z	Système de coordonnées cartésiennes
r, $\theta$ , z	Système de coordonnées cylindriques
C	Cinétique
E	Entrée
I	Interne
max	maximum
min	Minimum
moy	Moyenne
S	Sortie
Sol	Sol



$T$	Turbulent
*	Grandeur adimensionnelle
$\bar{x}$	Grandeur moyenne

### ***Abréviation***

AIE	Agence internationale de l'énergie
APRUE	Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie
MEM	Ministère de l'Énergie et Mines Algérien
DTRC	Documents Techniques Réglementaires de Conception
CNERIB	Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment
ANME	Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Énergie
OPGI	Office de Promotion et de Gestion Immobilière

## Liste des figures

	<b>Chapitre 1: Contexte énergétique dans le bâtiment</b>	
Figure 1.1	Répartition de la consommation énergétique mondiale selon les ressources en 2013	09
Figure 1.2	Production, consommation, exportation et réserves de pétrole en Algérie de 1980 à 2012	11
Figure 1.3	Consommation, exportation et réserves de gaz en Algérie de 1980 à 2012	12
Figure 1.4	Evolution de la consommation énergétique par forme d'énergie en Algérie	15
Figure.1.5	Consommation d'énergie par secteur en 2013	16
Figure 1.6	Evolution de la consommation électrique nationale dans le secteur ménager en GWh	17
Figure 1.7	Zonage climatique de l'Algérie adapté aux besoins de la réglementation thermique dans le bâtiment	20
	<b>Chapitre 2: Confort thermique et habitat</b>	
Figure 2.1	Les paramètres agissant sur la qualité de l'air	29
Figure 2.2	Confort visuel	31
Figure 2.3	Plage de confort sonore (en vert) et bruits courants	32
Figure 2.4	Confort thermique	34
Figure 2.5	Exemple de plage de confort sur le diagramme de l'air humide	36
Figure 2.6	Diagramme psychométrique de GIVONI avec application sur la ville de Ouargla	38
Figure 2.7	Température opérative idéale en fonction du métabolisme	39
Figure 2.8	Le métabolisme humain	39
Figure 2.9	Relation PMV/température opérative/Vitesse d'air	41
Figure 2.10	PPD en fonction de la température de l'air	41
Figure 2.11	Diagramme d'Olgay	46
Figure 2.12	Diagramme bioclimatique de B	48
	<b>Chapitre 3: Etat de l'art des bâtiments à basse consommation d'énergie</b>	
Figure 3.1	Habitat construite entièrement en matériaux végétales	53
Figure 3.2	Habitat en tissage	53
Figure 3.3	Usage de matériaux locaux (la pierre) à Ouargla	54
Figure 3.4	Exemple de surfaces pour différentes orientations à partir du Nord	57
Figure 3.5	Classes d'orientations pour le climat méditerranéen en été	58
Figure 3.6	Azimut de la paroi verticale suivant l'orientation	58
Figure 3.7	Les trois modes de fonctionnement d'une cheminée solaire	61
Figure 3.8	Types de cheminée solaire selon l'ouverture d'entrée, et leur position pour la ventilation naturelle	61
Figure 3.9	Installation d'une cheminée solaire inclinée	63
Figure 3.10	Schéma de principe d'un échangeur air-sol	69
Figure 3.11	Différentes modèles des Prises d'air	70
Figure 3.12	Echangeur géothermique	71
Figure 3.13	Système d'évacuation des condensats à siphon	72
Figure 3.14	Système d'évacuation à puits d'infiltration	72
Figure 3.15	Evacuation par infiltration dans le sol	73
Figure 3.16	Echangeur air-sol avec une VMC simple flux	74
Figure 3.17	Représentation de la VMC double flux	74
Figure 3.18	Emplacement du puits	75

Figure 3.19	Jardins suspendus de Babylone Maarten van Heemskerck - XVI <sup>e</sup> siècle	77
Figure 3.20	Graminées sur habitat traditionnel - Musée des traditions d'Oslo – Norvège	78
Figure 3.21	Transitions rue- bâtiment ; Quartier Vauban, Fribourg en Brisgau	79
Figure 3.22	Verdissement des bords de fenêtres par des Géranium et autres plantes	79
Figure 3.23	Forme et type de feuilles	80
Figure 3.24	Façade végétalisée recouverte de plantes grimpantes. New York, 2009	81
Figure 3.25	Les atouts de la végétalisation des toitures	85
Figure 3.26	Les onze wilayas dont le projet des BHE sera réalisé	92
<b>Chapitre 4: Étude numérique et expérimentale de la ventilation naturelle</b>		
Figure 4.1	La cheminée solaire	97
Figure 4.2	Le rayonnement dans la cheminée solaire	100
Figure 4.3	Pyranomètre à affichage numérique	103
Figure 4.4	Thermocouple de type K	104
Figure 4.5	Testo 425	104
Figure 4.6	Thermo-hygromètre Testo 608-H1	104
Figure 4.7	Variation de rayonnement en fonction du temps	105
Figure 4.8	Variation des différentes températures et l'intensité de rayonnement solaire en fonction du temps	105
Figure 4.9	Variation des températures du vitre et d'absorbeur en fonction de l'intensité de rayonnement ( $\alpha=45^\circ$ , $e= 20$ cm)	106
Figure 4.10	Effet de la variation de l'épaisseur de la cheminée à une inclinaison de $30^\circ$ sur le débit sortant	107
Figure. 4.11.	Effet de la variation de l'épaisseur de la cheminée à une inclinaison de $45^\circ$ sur le débit sortant	107
Figure 4.12.	Effet de la variation de l'inclinaison de la cheminée à une épaisseur de 20 cm sur le débit sortant	108
Figure 4.13	Modèle physique de la cheminée solaire	109
Figure 4.14	Modèle physique de la pièce menue d'une cheminée solaire	109
Figure 4.15	Volume de contrôle considérer	111
Figure 4.16	Les conditions aux limites	113
Figure 4.17	Maillage du premier modèle	115
Figure 4.18	Maillage du deuxième modèle	115
Figure 4.19	Variation du débit volumique en fonction du rayonnement solaire correspond à $\alpha=60^\circ$ et d'épaisseur de 20 cm	117
Figure 4.20	Variations de débit volumique en fonction de l'inclinaison pour une épaisseur de 20 cm et un rayonnement de $300 \text{ W/m}^2$	117
Figure 4.21	Comparaison entre les résultats expérimentaux et de simulation ( $\alpha=30^\circ$ et $e= 20$ cm)	118
Figure 4.22	Comparaison entre les résultats expérimentaux et de simulation ( $\alpha=45^\circ$ et $e= 10$ cm)	118
Figure 4.23	Débit volumique d'air en fonction de l'épaisseur de la veine d'air pour une inclinaison de $30^\circ$ et un rayonnement de $460 \text{ W/m}^2$	119
Figure 4.24	Profil de vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée pour un angle d'inclinaison $\alpha=45^\circ$ et une épaisseur de lame d'air $e = 20$ cm	120
Figure 4.25	Profil de vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée pour un angle d'inclinaison $\alpha=45^\circ$ et une épaisseur de lame d'air $e = 30$ cm	120
Figure 4.26	Profil de vitesse de l'air à la sortie de la cheminée pour une épaisseur de lame d'air $e=20$ cm	121

Figure 4.27	Profil de vitesse de l'air à la sortie de la cheminée pour une épaisseur de lame d'air $e = 30\text{cm}$	121
Figure 4.28	Champ dynamique pour une épaisseur de lame d'air $e=30\text{cm}$	122
Figure 4.29	Champ dynamique pour une épaisseur de lame d'air $e=20\text{ cm}$	122
Figure 4.30	Champ dynamique pour une épaisseur de lame d'air $e=10\text{ cm}$	123
Figure 4.31	Champs thermique pour une épaisseur de lame d'air $e=30\text{cm}$	123
Figure 4.32	Champs thermique pour une épaisseur de lame d'air $e=20\text{cm}$	124
Figure 4.33	Champs thermique pour une épaisseur de lame d'air $e=10\text{cm}$	124
Figure 4.34	Profil des vitesses à la sortie de la cheminée	125
Figure 4.35	Profil de vitesse d'aire à la zone de médian	125
Figure 4.36	Ecoulements pour différentes intensités de rayonnement solaire	127
Figure 4.37	Profils de température à la zone de médian	128
Figure 4.38	Ecoulements pour différentes intensités de rayonnement solaire	129
Figure 4.39	Profils de la température à la sortie de la cheminée	130
Figure 4.40	Disposition de l'échangeur air-sol	132
Figure 3.41	Le modèle physique de l'échangeur air-sol	132
Figure 4.42	Le maillage utilisé pour l'échangeur air-sol	140
Figure 4.43	Variation de la température de l'air le long de l'échangeur pour $Q_v=130\text{ m}^3/\text{h}$	142
Figure 4.44	Variation de la température de l'air le long de l'échangeur pour $Q_v=155.43\text{ m}^3/\text{h}$	142
Figure 4.45	La température de sol en fonction de la profondeur	144
Figure 4.46	Distribution de la température dans l'échangeur pour $L=25\text{m}$ et $D =0.2\text{ m}$	147
Figure 4.47	Distribution de la température dans l'échangeur pour $L=35\text{m}$ et $D =0.2\text{ m}$	147
Figure 4.48	Distribution de la température dans l'échangeur pour $L=45\text{m}$ et $D =0.2\text{ m}$	147
Figure 4.49	Distribution de la température dans l'échangeur pour $Q_v= 125\text{ m}^3/\text{h}$	148
Figure 4.50	Distribution de la température dans l'échangeur pour $Q_v= 200\text{ m}^3/\text{h}$	148
Figure 4.51	Distribution de la température dans l'échangeur pour $Q_v= 300\text{ m}^3/\text{h}$	148
Figure 4.52	Profils de température à la sortie du tube pour $Q_v= 125\text{ m}^3/\text{h}$	149
Figure 4.53	Profils de température à la sortie du tube pour $Q_v= 200\text{ m}^3/\text{h}$	150
Figure 4.54	Profils de température à la sortie du tube pour $Q_v= 300\text{ m}^3/\text{h}$	151
Figure 4.55	Les trois cas de la géométrie de l'échangeur	153
Figure 4.56	La distribution de pression totale en (Pa) pour $Q_v =125\text{ m}^3/\text{h}$	154
Figure 4.57	La distribution de pression totale en (Pa), pour $Q_v =200\text{ m}^3/\text{h}$	155
Figure 4.58	La distribution de pression totale en (Pa), pour $Q_v =300\text{ m}^3/\text{h}$	155
<b>Chapitre 5: Impact de la végétation sur le confort thermique des bâtiments</b>		
Figure 5.1	Préparation de ferrailage	161
Figure 5.2	Construction de l'enveloppe	162
Figure.5.3	La fenêtre	163
Figure.5.4	La porte	163
Figure 5.5	Collage de la dalle	163
Figure 5.6	L'emplacement de la dalle	163
Figure 5.7	Mur végétal	164
Figure 5.8	Les matériaux utilisés et les étapes de construction de la toiture végétale	165
Figure 5.9	Simulateurs solaires	168
Figure 5.10	La variation de température surfacique extérieure en fonction du temps	168
Figure 5.11	La variation des températures de l'air à l'intérieures dans les cellules A	169
Figure 5.12	Système d'acquisition	170

Figure 5.13	Variation des températures intérieures dans les cellules "A" et "B"	172
Figure 5.14	Variation de température de surface intérieure dans les cellules "A" et "B"	173
Figure 5.15	Variation de température de surface extérieure dans les cellules "A" et "B"	174
Figure 5.16	Variation de température entre les points d'écran végétal	176
Figure 5.17	Variation des températures intérieures dans les cellules "A", "B" et "C"	177
Figure 5.18	Variation des températures de surfaces intérieures dans les cellules "A", "B" et "C"	178
Figure 5.19	Variation de température extérieure dans les cellules "A", "B" et "C"	178
Figure 5.20	Variation des températures intérieures dans les cellules	180
Figure 5.21	Variation des températures de surface moyennes intérieures	181
Figure 5.22	Variation des températures intérieures dans les cellule "A" et "D"	182
Figure 5.23	Variation de température surfacique interne de toiture végétalisée	183
Figure 5.24	Variation de température surfacique externe de toiture végétalisée	183
Figure 5.25	Variation de température intérieure dans les cellule "A" et "E"	185
Figure 5.26	Variation des températures intérieure de cellule de toiture	186
Figure 5.27	Variation des températures extérieure de toiture	186
Figure 5.28	Variation des températures intérieures du Mur sud	187
Figure 5.29	Variation des températures extérieure de Mur	188

### **Chapitre 6 : Contribution de la morphologie des bâtiments sur le confort thermique**

Figure.6.1	Les formes optimales proposées par Olgay pour les 4 types de climats : froid, tempéré, chaud aride et chaud humide	192
Figure 6.2	Différentes dispositions des bâtiments suivant le rapport surface/volume (F/V)	198
Figure 6.3	Aspects de la forme du bâtiment pouvant réduire le gain de chaleur en climat chaud.	199
Figure 6.4	Quelques formes à éviter dans la construction	202
Figure 6.5	Situation géographique de Ouargla	203
Figure 6.6	Quelques formes de bâtiments dans la cité 150 logements	204
Figure 6.7	Différentes formes utilisées à Bemendil Eldjadida et Cité Nasr, Ville de Ouargla	205
Figure 6.8	Situation géographique de Wilaya de Béchar	206
Figure 6.9	Quelques formes de construction à Béchar.	207
Figure 6.10	Influence du facteur forme sur la consommation énergétique annuelle de climatisation pour la vile de Ouargla et la ville de Béchar (forme rectangulaire)	208
Figure 6.11	Influence du facteur forme sur la consommation énergétique annuelle de climatisation pour la vile de Ouargla et la ville de Béchar (forme L)	215
Figure 6.12	Influence du facteur forme sur la consommation énergétique annuelle de climatisation pour la vile de Ouargla et la ville de Béchar (forme T)	217
Figure 6.13	Influence du facteur forme sur la consommation énergétique annuelle de climatisation pour la vile de Ouargla et la ville de Béchar (forme Plus)	218
Figure 6.14	Influence du facteur forme sur la consommation énergétique annuelle de climatisation pour la vile de Ouargla et la ville de Béchar (forme U)	220
Figure 6.15	Influence du facteur forme sur la consommation énergétique annuelle de climatisation pour la vile de Ouargla et la ville de Béchar (forme Z)	222
Figure 6.16	Influence du facteur forme sur la consommation énergétique annuelle de climatisation pour la ville de Ouargla (les six forme)	223
Figure 6.17	Influence du facteur forme sur la consommation énergétique annuelle de	224

	climatisation pour la ville de Béchar (les six forme)	
Figure 6.18	Influence du facteur forme sur la consommation énergétique annuelle de climatisation pour la ville de Ouargla et la ville de Béchar (les six forme)	225
Figure 6.19	Comparaison des coûts de l'énergie électrique, ville de Ouargla	230
Figure 6.20	Comparaison des coûts de l'énergie électrique, ville de Béchar	230
	<b>Chapitre 7:intégration des solutions bioclimatique</b>	
Figure 7.1	Organigramme de la méthodologie de recherche	235
Figure 7.2	Archétype A	237
Figure 7.3	Archétype B	238
Figure 7.4	Archétype A	244
Figure 7.5	Archétype B	245

## Liste des tableaux

### Chapitre 1: Contexte énergétique dans le bâtiment

Tableau 1.1	Evolution de la consommation finale par habitant en Algérie	15
Tableau 1.2	Consommation d'énergie dans les différents secteurs en ktep	16
Tableau 1.3	Intervalles de climatisation et de chauffage	20

### Chapitre 2: Confort thermique et habitat

Tableau 2.1	Facteurs et sources influant sur la qualité de l'air	30
Tableau 2.2	Les données climatiques de la région de Ouargla	37
Tableau 2.3	Vote moyen prévisible (PMV)	40
Tableau.2.4	Valeurs de résistance de vêtue	43

### Chapitre 3: Etat de l'art des bâtiments à basse consommation d'énergie

Tableau.3.1.	Projet des BHE dans la wilaya de Eloued, Skikda et Laghouat	93
--------------	---	----

### Chapitre 4. Étude numérique et expérimentale de la ventilation naturelle

Tableau 4.1	Caractéristiques de la vitre	98
Tableau 4.2	Caractéristiques des différents matériaux utilisés pour l'absorbeur	98
Tableau 4.3	Caractéristiques de quelques isolants	99
Tableau 4.4	Différence de débit massique entrant et sortant de la cheminée et le nombre des itérations	114
Tableau 4.5	Les paramètres physiques de l'air	116
Tableau 4.6	Les résidus pour les différentes équations	118
Tableau 4.7	Ecart entre les résultats expérimentaux et de simulation	119
Tableau 4.8	Vitesse à la sortie de la cheminée et les différentes températures correspondantes	125
Tableau 4.9	Effet de rayonnement sur le taux de renouvellement d'air	130
Tableau 4.10	Expression des grandeurs $\phi, \Gamma^\phi, P^\phi$ et $S^\phi$ de l'équation générale de transport	134
Tableau 4.11	Erreur relative en fonction du nombre des nœuds	140
Tableau 4.12	Mesure des températures de sol et la température ambiante pendant la journée	143
Tableau 4.13	Nombre de Reynolds en fonction de débit volumique et le diamètre	145
Tableau 4.14	Calcule du flux de chaleur échangé $\phi$ en [W]	146
Tableau 4.15	La température moyenne de sortie pour $Z=2.5m$	152
Tableau 4.16	Calcul la perte de charge	156
Tableau 4.17	Calcul de la puissance de ventilateur	157

### Chapitre 5: Impact de la végétation sur le confort thermique des bâtiments

Tableau.5.1	Les caractéristiques technologiques des différents échantillons	166
Tableau 5.2	Caractéristiques des cellules "A" et "B"	172
Tableau 5.3	Caractéristiques des cellules "A", "B" et "C"	176
Tableau 5.4	Caractéristiques des cellules "A", "B" et "C"	179
Tableau 5.5	Caractéristiques des cellules "A" et "D"	181
Tableau 5.6	Caractéristiques des cellules "A" et "E"	184

### Chapitre 6 : Contribution de la morphologie des bâtiments sur le confort thermique

Tableau 6.1	Exemple sur des maisons traditionnelles dans différents climats	194
Tableau 6.2	<b>Différentes formes des bâtiments étudiées</b>	202
Tableau 6.3	<b>Calcule de coefficient de transmission de chaleur k</b>	213

Tableau 6.4	Résultats de simulation pour la forme rectangulaire	214
Tableau 6.5	Résultats de simulation pour la forme « L »	216
Tableau 6.6	Résultats de simulation pour la forme « T »	218
Tableau 6.7	Résultats de simulation pour la forme « Plus »	219
Tableau 6.8	Résultats de simulation pour la forme « U »	220
Tableau 6.9	Résultats de simulation pour la forme « Z »	222
Tableau 6.10	Consommation énergétique pour les six formes architecturales dans les deux villes	227
Tableau 6.11	Coût de l'énergie électrique consommé à Ouargla et à Béchar	229
Tableau 6.12	Coût de construction des bâtiments estimé pour chaque forme	231
<b>Chapitre 7: intégration des solutions bioclimatique</b>		
Tableau 7.1	Consommation énergétique pour l'archétype A sans et avec la cheminée solaire (ville de Béchar)	238
Tableau 7.2	Consommation énergétique pour l'archétype A sans et avec l'échangeur air-sol (ville de Béchar)	239
Tableau 7.3	Consommation énergétique pour l'archétype A sans et avec la végétation (ville de Béchar)	240
Tableau 7.4	Consommation énergétique pour l'archétype A sans et avec les solutions bioclimatiques (ville de Béchar)	240
Tableau 7.5	Consommation énergétique pour l'archétype B sans et avec la cheminée solaire (ville de Béchar)	241
Tableau 7.6	Consommation énergétique pour l'archétype B sans et avec l'échangeur air-sol (ville de Béchar)	242
Tableau 7.7	Consommation énergétique pour l'archétype B sans et avec la végétation (ville de Béchar)	242
Tableau 7.8	Consommation énergétique pour l'archétype B sans et avec les solutions bioclimatiques (ville de Béchar)	243
Tableau 7.9	Consommation énergétique pour l'archétype A sans et avec cheminée solaire (ville de Ouargla)	245
Tableau 7.10	Consommation énergétique pour l'archétype A sans et avec l'échangeur air-sol (ville de Ouargla)	246
Tableau 7.11	Consommation énergétique pour l'archétype A sans et avec la végétation (ville de Ouargla)	247
Tableau 7.12	Consommation énergétique pour l'archétype A sans et avec les solutions bioclimatique (ville de Ouargla)	247
Tableau 7.13	Consommation énergétique pour l'archétype B sans et avec cheminée solaire (ville de Ouargla)	248
Tableau 7.14	Consommation énergétique pour l'archétype B sans et avec l'échangeur air-sol (ville de Ouargla)	248
Tableau 7.15	Consommation énergétique pour l'archétype B sans et avec la végétation (ville de Ouargla)	249
Tableau 7.16	Consommation énergétique pour l'archétype B sans et avec les solutions bioclimatique (ville de Ouargla)	259
Tableau 7.17	Consommation énergétique pour l'archétype A et l'archétype B (ville de Béchar)	250
Tableau 7.18	Consommation énergétique pour l'archétype A et B (ville de Ouargla)	251



# **Introduction Générale**

# **Introduction générale**

L'apparition de la crise énergétique dans les années 70 illustre la fragilité des systèmes dépendant des énergies fossiles. Cette crise énergétique due à l'explosion croissante de la consommation énergétique d'un côté et à sa raréfaction d'un autre côté (Bahedja I, 2008). La consommation mondiale d'énergie en 2014 est d'environ 12.274 milliards de tonnes équivalent pétrole avec une croissance annuelle de la consommation de l'ordre de 2,5%, selon l'Agence Internationale de l'Energie (AIE). Avec cette croissance, le monde aura certainement atteint la limite des réserves prouvées (800 Gtep) à l'horizon 2050 (AIE, 2014). En terme de part de marché, le pétrole est la source d'énergie la plus courante avec près de 37%. Il est suivi par le charbon avec 27% et le gaz naturel avec 23%. Le nucléaire représente un peu moins de 6% du marché mondial, l'hydroélectricité et autres énergies renouvelables environ 8% (Djemaa A, 2009).

Concernant la consommation de l'énergie en Algérie, le secteur résidentiel et tertiaire a atteint un taux de 40 %, suivi du secteur des transports de 35% et enfin le secteur industriel et BTP avec 25% en 2010. La consommation d'énergie finale par habitant est de 0.48 TEP en 1990 et passera à 1.35 TEP en 2010 (IMME, 2010).

La forte demande actuelle de consommation énergétique en Algérie est due principalement à l'augmentation du niveau de vie de la population et du confort qui en découle, ainsi qu'à la croissance des activités industrielles (Foura S, 2007). Elle nous interpelle sur la nécessité d'une nouvelle politique énergétique ainsi que de nouveaux comportements des usagers. L'augmentation du prix de l'énergie a suscité l'intérêt d'utiliser des sources d'énergie gratuites et inépuisables comme celles provenant du rayonnement solaire.

En Algérie, le secteur du bâtiment est le secteur le plus énergivore. Sa consommation représente plus de 42% de la consommation finale (Mekideche M, 2011). Les raisons qui ont conduit à l'augmentation de la consommation d'énergie dans le secteur résidentiel sont l'augmentation substantielle de la population, du nombre de logements, des prix bas de l'énergie conventionnelle, de l'augmentation du nombre d'équipements électriques dans chaque foyer, de l'utilisation des équipements électriques non -économiques telles que les lampes à incandescence et de l'absence de la sensibilisation sur la maîtrise et l'efficacité énergétique (Missoum M, 2014).

## **Introduction générale.**

---

Le niveau de consommation de ce secteur, surtout en période estivale, constitue l'un des soucis majeurs exprimés dans le cadre du modèle de consommation énergétique Algérien (Imessad K, 2007). Une moitié de la consommation d'énergie dans les bâtiments est liée à la climatisation. L'épargne de l'énergie des systèmes de chauffage, ventilation et climatisation peut être réalisée en installant des systèmes efficaces et passifs tels que l'orientation des façades, la compacité, la cheminé solaire, l'échangeur air-sol et la végétation. À la même heure, l'application des technologies d'énergie renouvelable devrait être entièrement étudiée à l'étape de conception pour réduire au minimum le conditionnement d'air pour le refroidissement du bâtiment. Le confort thermique visé à l'intérieur des constructions est en fait une principale exigence pour le comportement moral et physique de l'individu. Il est estimé essentiellement en fonction des paramètres climatiques extérieurs. Dans les pays méditerranéens, le rayonnement solaire pendant les mois d'été est très intense et la température de l'air ambiante augmente souvent jusqu'à 40 °C ou plus. Dans les zones semi-arides et arides telle que la région de Ouargla, les besoins de chauffage en hiver sont faibles, bien que réels, mais les besoins de refroidissement, en été, sont beaucoup plus importants.

L'Algérie connaît une crise aiguë en matière d'habitat dont le confort thermique ne semble pas être le souci majeur des concepteurs. En quatre décennies d'indépendance, le paysage urbain et architectural des agglomérations algériennes a connu un changement sans précédent; aucune ville, aucun village n'a échappé à ce modèle constructif. Ce phénomène est caractérisé par une forte demande où la quantité a pris le dessus sur la qualité. Les nouveaux modèles architecturaux produits durant ces dernières décennies en Algérie, qu'on appelle constructions modernes sont de plus en plus inadaptées et gros consommateurs d'énergie (Boulkenafet N, 2014) Très souvent, ces constructions négligent les aspects climatiques, dont l'importance ne paraît pas aux yeux du propriétaire ni même du concepteur dans les premières étapes du projet. Pour pallier à ce problème d'inconfort, on a souvent recours à des dépenses supplémentaires de chauffage et de climatisation. Ce type d'habitat provoque le problème d'intégration climatique qui implique une consommation considérable d'énergie.

Avec la raréfaction des ressources de ces énergies et leurs coûts qui prennent l'ascenseur, en plus des effets négatifs des émissions qui en résultent sur le réchauffement de la planète, on commence à prendre conscience des biens faits d'intégrer le climat dans le mode de construire et d'en faire un facteur important dans la recherche architecturale pour adapter les constructions aux conditions climatiques de la région afin d'atteindre le niveau de confort thermique requis à moindre consommation d'énergie.

## **Introduction générale.**

---

On constate que le climatiseur et le chauffage consomment une portion non négligeable en matière d'énergie. Cependant, devant les besoins sans cesse croissant de la population algérienne pour les années à venir, on doit chercher comment économiser cette énergie et développer d'autres sources d'énergie, dans le but d'assurer un développement durable en harmonie avec l'environnement. Pour cela, on doit adapter le bâtiment au climat et au mode de vie des futurs habitants; Car un mauvais choix peut coûter très cher à long terme sur le plan énergétique. Le secteur de l'habitat a enregistré, entre 1999 et 2011, des développements notables en matière de réalisation des programmes de logements. Près de 2.2 millions de logements ont été lancés dans le cadre du programme quinquennal 2010-2014. Le nombre des logements lancés depuis 2010 a atteint 2, 190,687 unités jusqu'au 30 septembre 2014 sur un total de 2,223,403 logements inscrits dans le programme du quinquennat qui s'achèvera fin décembre 2014.

L'enveloppe d'un bâtiment est l'interface entre l'ambiance intérieure et l'environnement extérieur ; elle est le siège de transferts de chaleur, d'humidité, et d'air, qui déterminent le climat interne du bâtiment. Le plus souvent, elle doit être complétée par un système de régulation (chauffage, rafraîchissement, humidification, renouvellement d'air...) Le mode constructif a donc un impact primordial sur le maintien du confort des occupants et sur le niveau de performance énergétique du bâtiment.

Dans les climats chauds, il est possible de remédier à ce problème, simplement par des dispositions architecturales passives adéquates ainsi que par un bon choix de matériaux. L'optimisation des consommations de climatisation repose sur un choix pertinent de matériaux et une conception globale du bâtiment en lien avec les caractéristiques locales climatiques.

L'architecture traditionnelle a apporté des solutions liées aux problèmes d'adaptation climatique. Les systèmes de refroidissement traditionnels doivent être révisés et améliorés pour pouvoir répondre de manière adéquate aux exigences du confort thermique dans les constructions actuelles des régions arides.

L'architecture bioclimatique se base sur les architectures traditionnelles, mais aussi sur de nouvelles technologies. Elle prend en compte les facteurs climatiques pour la construction du bâtiment et également la notion d'économie d'énergie. C'est une architecture consciente des besoins des êtres vivants qui l'habitent, au niveau de la santé, de la psychologie de l'espace, du confort thermique et du confort acoustique (Berghout B, 2012).

## **Introduction générale.**

---

Elle est aussi consciente des problèmes d'environnement en général, par le choix des formes et des matériaux.

L'objectif principal de ce travail est le développement d'une méthodologie pour mener à bien des études de conception de bâtiments à basse consommation d'énergie. Le principe de la méthodologie est de développer à l'aide d'outils de simulation numérique et en se basant sur l'expérimentation, des modèles pour l'évaluation des performances énergétiques et du confort thermique des bâtiments.

Notre étude a pour objectif de chercher les stratégies de conception à adopter, les dispositifs architecturaux à utiliser pour assurer un niveau de confort thermique acceptable en étudiant l'influence de l'enveloppe du bâtiment sur les ambiances intérieures et comment intégrer le concept bioclimatique afin d'apporter des solutions aux exigences du confort thermique et de réduire les besoins en climatisation dans les zones arides.

Le travail se concentre sur la détermination des archétypes d'habitation les plus performantes dans les climats chauds et arides, ce qui permet d'avantage de définir leurs caractéristiques qui influent directement sur la performance thermique. Nous présentons une méthodologie d'intégration des solutions bioclimatiques pour améliorer son confort et économiser l'énergie dans ses archétypes d'habitation.

Le travail présenté dans ce document comporte sept chapitres, précédés d'une introduction et se terminant par une conclusion et des annexes.

Le premier chapitre présente le contexte énergétique mondial et algérien et surtout la consommation de l'énergie dans le secteur du bâtiment afin de comprendre le comportement thermique de la structure du bâtiment. La consommation énergétique de chauffage et de climatisation, les réglementations, les labels et les programmes énergétiques à l'échelle européenne, maghrébine et nationale sont aussi présentés dans ce chapitre.

Le deuxième chapitre est consacré au confort thermique en espace intérieur. Plusieurs définitions de la notion de confort sont proposées soulignant la complexité du domaine abordé. Les différents paramètres intervenant dans l'établissement des critères de confort sont présentés. Ils concernent à la fois les éléments relatifs à l'environnement et à l'individu qui font intervenir différents échanges thermiques que nous détaillons. Enfin, différents indices de confort seront rappelés pour les situations de confort.

Le troisième chapitre présente l'état de l'art des bâtiments à basse consommation d'énergie. Des labels de bâtiments performants et des solutions concernant les méthodes de

conception de l'enveloppe et les systèmes spécifiques à ce type de bâtiments sont présentés dans ce chapitre.

Le quatrième chapitre est consacré à la ventilation naturelle, en donnant un aperçu sur les divers modes de ventilation. En particulier, l'utilisation d'une cheminée solaire et d'un échangeur air- sol comme des systèmes de refroidissement. On présente aussi dans ce chapitre les deux systèmes réalisés pour améliorer la ventilation naturelle, en donnant une description des dispositifs expérimentaux. Nous nous référons aux conditions expérimentales et les différents résultats obtenus par certains auteurs. Les résultats obtenus expérimentalement, nous ont permis d'évaluer le degré d'efficacité du système, et de les comparer avec les résultats numériques.

Dans le cinquième chapitre, nous nous intéressons à la pertinence de l'effet de la végétation comme dispositif de rafraîchissement et son impact sur le confort intérieur des bâtiments. On présente une étude expérimentale comparative pour tester l'effet de la végétation sur différentes cellules. Le travail concerne en premier temps une investigation in situ qui permet une lecture des paramètres hygrothermiques des trois cellules d'essais. Une série de mesures de température, d'humidité relative et des températures de surfaces sont réalisées à l'intérieur et à l'extérieur de la cellule, et ceci dans le but d'évaluer l'effet du mur végétal et de la toiture végétalisée sur le confort intérieur de la construction.

Le sixième chapitre présente la relation entre la morphologie, l'orientation et la performance énergétique du bâtiment. Une méthode d'évaluation de la consommation énergétique en fonction de l'enveloppe du bâtiment est testée. L'outil logiciel TRNSYS a été utilisé comme moyen d'évaluation. Différents formes de bâtiment ont été considérés. La simulation nous a permis d'estimer les besoins énergétiques de climatisation pour chaque facteur forme. La méthode des degrés jours est détaillée pour le calcul des besoins énergétiques en climatisation. Deux sites de climats différents ont été considérés, en l'occurrence, Ouargla et Béchar, comme application de la méthodologie. Des résultats économiques et énergétiques sont présentés pour tous les cas étudiés.

Le septième chapitre est consacré au développement d'une méthode de comparaison entre les solutions bioclimatique intégré pour deux archétypes d'habitation sélectionnés. On développe une méthodologie originale pour la simulation et la prédiction de la consommation d'énergie liée à la climatisation. Une étude technico-économique est présentée pour chaque

## **Introduction générale.**

---

cas. Elle permet de déterminer l'archétype le moins énergivore et la solution bioclimatique la plus pertinente pour économiser l'énergie dans les bâtiments en région aride.

On achève ce manuscrit par une conclusion générale.

# **Chapitre 1**

## **Contexte énergétique dans le bâtiment**



### **1.1. Introduction**

A l'échelle nationale, le secteur résidentiel est considéré comme étant le secteur le plus énergivore, il présente 42% de la consommation finale (Djelloul A, 2013). L'Algérie doit faire face à un problème énergétique croissant lié à l'évolution de sa démographie. En effet, que ce soit dans le secteur du logement, le secteur tertiaire ou autre, les besoins en énergies fossiles ou renouvelables sont proportionnels à l'évolution de la population.

Dans le domaine du bâtiment, le nombre de constructions en logements ou en bâtiments tertiaires est amené à augmenter considérablement. L'absence d'application de réglementation thermique alliée à des contraintes économiques de coût de construction et des pratiques architecturales importées a longtemps favorisé la réalisation de bâtiments totalement inadaptés aux climats.

Ce chapitre permet de présenter la consommation énergétique du secteur du bâtiment dans le monde et en Algérie. Ainsi, nous rappelons le contexte énergétique du secteur du bâtiment en Algérie et les réglementations thermiques afin de situer les enjeux. La réglementation thermique est l'ensemble des textes de lois, décrets et arrêtés d'application relatifs aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments. Elle définit des performances énergétiques précises auxquelles la construction neuve doit répondre, pour le chauffage, l'éclairage, la ventilation, la production d'eau chaude sanitaire et la climatisation.

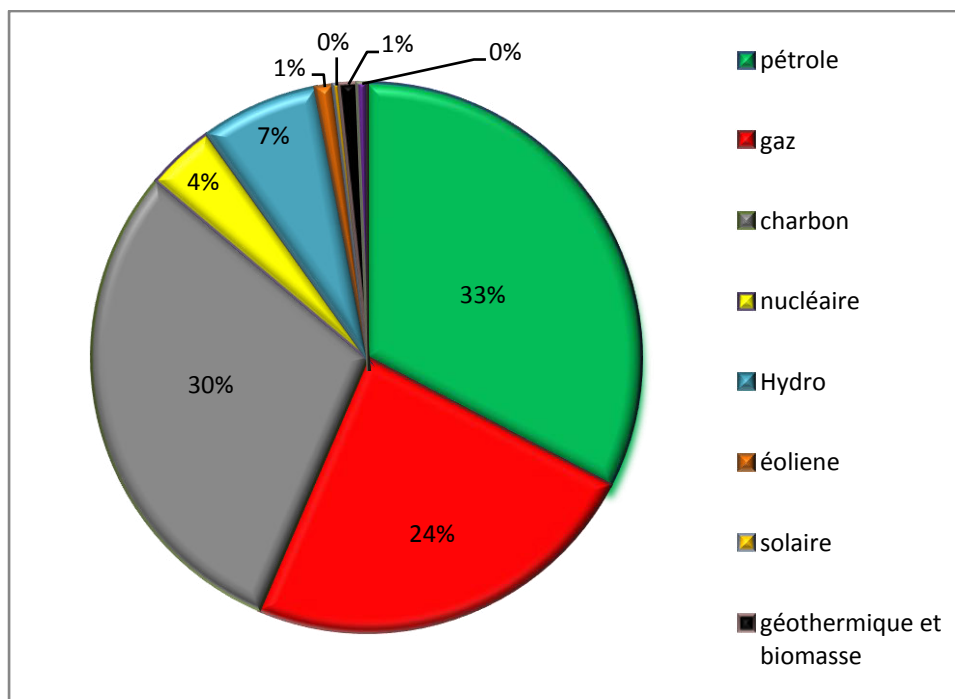
### **1.2. Notion d'économie d'énergie**

Dans les pays en développement, l'énergie est un des facteurs déterminants pour la survie des populations : elle est nécessaire à toute activité humaine et indispensable à la satisfaction des besoins quotidiens (eau, nourriture, santé,...) mais également pour assurer un minimum de développement économique et social. La crise de l'énergie, à un certain temps, a fait passer au premier plan la réduction des coûts énergétiques. Mais de nos jours, l'assurance du confort visuel, olfactif, acoustique et hygrothermique est devenue l'instinct prépondérant pour tous les décideurs de la conception de l'habitat (Gros A, 2013). Une exigence de confort d'été plus stricte peut impliquer le recours à la climatisation, et donc induire une augmentation de la consommation d'énergie et des impacts qui en découlent. La gravité des problèmes environnementaux est maintenant patente et il n'est plus raisonnable d'ignorer les conséquences environnementales des décisions que nous prenons (Da Silva D, 2011). Le secteur du bâtiment contribue de manière importante à ces problèmes. Il est donc nécessaire

de recourir, autant que possible, aux outils d'aide à la décision et aux technologies qui permettent de réduire les impacts environnementaux des bâtiments.

### 1.3. Consommation mondiale de l'énergie

La demande d'énergie primaire mondiale était satisfaite en 2013 à plus de 87% par les énergies fossiles. Le pétrole est la première source d'énergie, assurant 33% des besoins mondiaux, suivi par le charbon 30% et le gaz 24%. Les énergies renouvelables satisfont quant à elles 13 % de la demande, dont 6 % pour l'hydraulique. La part du nucléaire dans la consommation d'énergie primaire s'établit à 4% (BP, 2014) (figure 1.1).



**Figure 1.1:** Répartition de la consommation énergétique mondiale selon les ressources en 2013 (BP, 2014).

Les besoins mondiaux en énergie devraient connaître une forte augmentation soutenus par deux dynamiques : la croissance de la population et celle de l'économie. Ainsi, selon l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE), la hausse de la demande énergétique serait de 40% sur la période 2009-2035 (AIE, 2011). Pour se prémunir face au risque de nouvelles tensions sur l'offre d'énergie, les pays doivent aujourd'hui faire face à des enjeux d'investissements massifs dans de nouvelles infrastructures énergétiques, qu'il s'agisse de production, de transport, ou d'efficacité énergétique.

Les énergies renouvelables ont assuré 12,4% de la consommation finale d'énergie dans le monde en 2013, et cette tendance s'est encore accentuée en 2014. La demande

énergétique totale par habitant par an augmente régulièrement depuis 1967 avec la croissance de la consommation unitaire d'électricité. Celle-ci joue en effet un rôle de substitut au pétrole durant la crise pétrolière des années 1970 qui entraîne notamment la transition entre énergie fossile et énergie renouvelable (Hye Kim E, 2014). La transition énergétique prévoit leur remplacement progressif par des sources d'énergies renouvelables pour la quasi-totalité des activités humaines (transport, industrie, éclairage, chauffage, etc.).

C'est donc aussi une transition comportementale et sociotechnique, qui implique une modification radicale de la politique énergétique : en passant d'une politique orientée par la demande à une politique déterminée par l'offre, et d'une production centralisée à une production décentralisée. Il s'agit aussi d'éviter la surproduction et les consommations superflues pour mieux économiser l'énergie, et bénéficier d'une meilleure efficacité énergétique.

L'utilisation des combustibles fossiles contribue pour plus de 65 % aux émissions de gaz à effet de serre. Ces émissions sont responsables des changements climatiques aux conséquences potentiellement catastrophiques pour l'ensemble de la planète.

En 2012, la consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment représente 33 % de la consommation mondiale d'énergie finale. Le taux de consommation du secteur de l'industrie ne dépasse pas 44% et dans le secteur du transport ne dépasse pas 14%.

La consommation d'énergie électrique par habitant montre de fortes disparités dans le monde, entre 592 kWh/an en Afrique, 3488 kWh/ an en Chine, 12947 kWh/an aux Etats Unis et à titre d'indication, la consommation électrique en Algérie est de 1282 kWh.

La demande énergétique mondiale a connu une croissance soutenue sur les 40 dernières années, passant de près de 5000 Mtep en 1970 à 12 000 Mtep en 2010. Elle a été multipliée par plus de 2,4 en 40 ans, ce qui correspond à un rythme de croissance annuelle moyen de l'ordre de 2,24 %. Cette tendance, si elle devait se prolonger sur les 40 prochaines années, conduirait à plus que doubler la demande énergétique mondiale à l'horizon 2050 par rapport au niveau de 2010 (Percebois, 2012).

### **1.4. Contexte énergétique en Algérie**

L'Algérie, possède d'importants gisements en pétrole et en gaz, décide de nationaliser son secteur pétrolier ainsi que la maîtrise et le contrôle des ressources pétrolières et gazières en février 1971. Le gaz naturel qui constitue 60% de ses réserves en énergie fossile, alimente

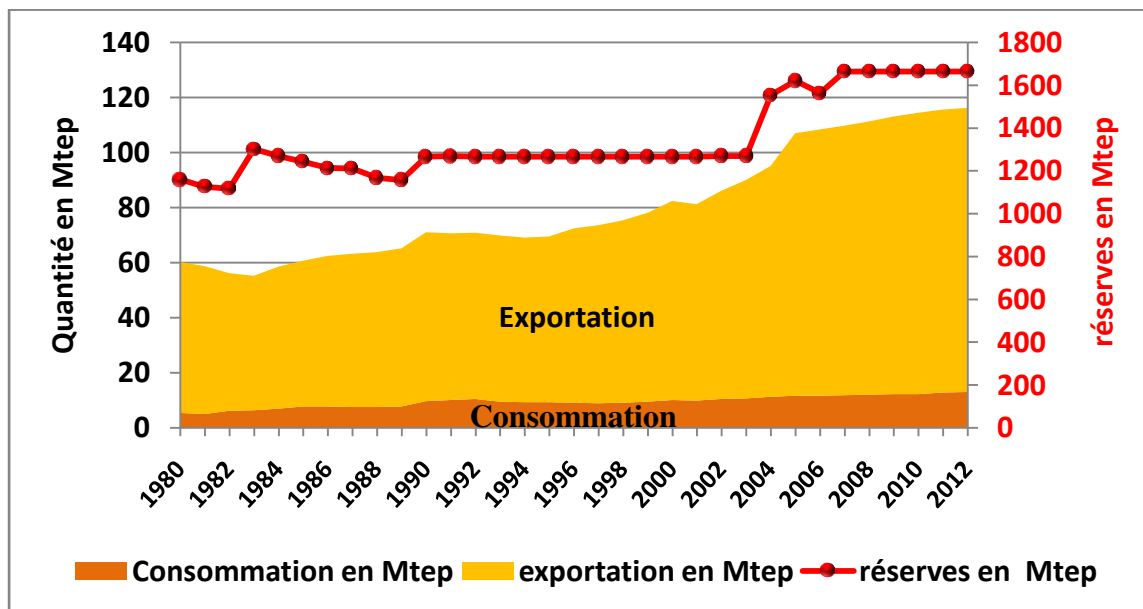
## Chapitre 1: Contexte énergétique dans le bâtiment.

à hauteur de 30% de ses revenus en devises, d'où la nécessité d'une réglementation de maîtrise de l'énergie s'impose en faisant valoir les arguments suivants:

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

L'Algérie, pays producteur et exportateur de pétrole et de gaz a connu une nouvelle politique nationale des hydrocarbures. L'état a permis le financement d'un vaste programme industriel, social et économique (APRUE, 2012). La forte demande actuelle de consommation énergétique en Algérie est due principalement à l'augmentation du niveau de vie de la population et du confort qui en découle, ainsi qu'à la croissance des activités industrielles. Elle nous interpelle sur la nécessité d'une nouvelle politique énergétique ainsi que de nouveaux comportements des usagers.

Le graphique suivant présente l'évolution de la production, la consommation, l'exportation et les réserves de pétrole pour la période allant de 1980 à 2012.

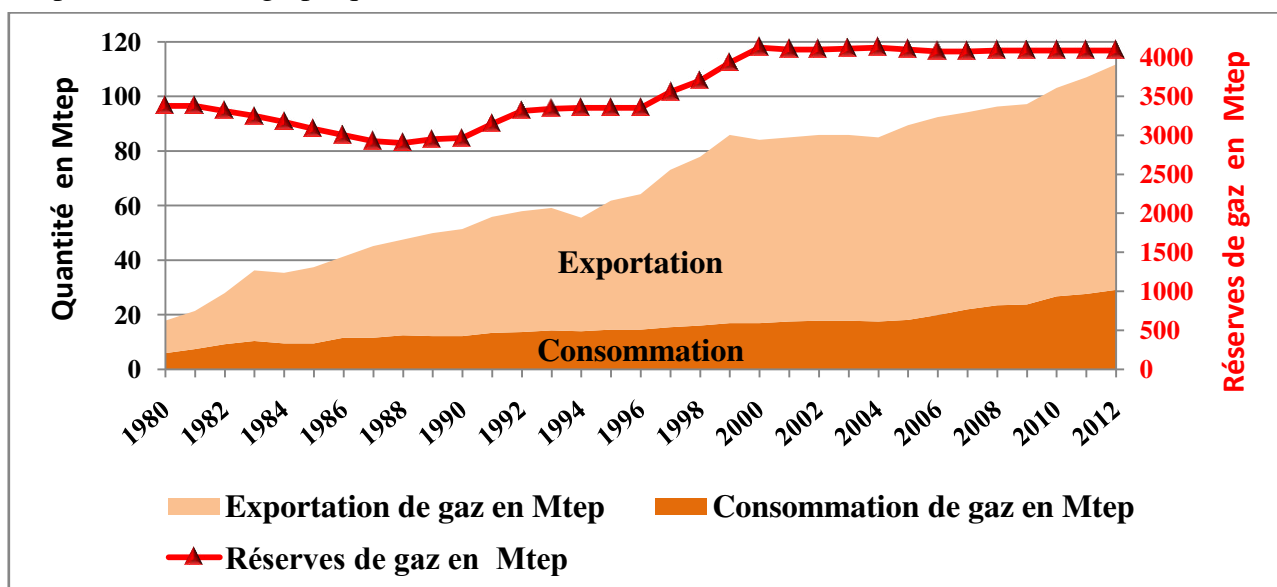


**Figure 1.2:** Production, consommation, exportation et réserves de pétrole en Algérie de 1980 à 2012 (BP, 2012 ; MEM, 2001 ; MEM, 2012).

## Chapitre 1: Contexte énergétique dans le bâtiment.

La production de pétrole en Algérie atteint le niveau de 60.32 Mtep en 1980 et de 115.36Mtep en2012 soit un taux de croissance de 91.23%. Cette augmentation est due principalement à la hausse de la demande mondiale en produits pétroliers. Si de nouvelles mesures de réduction de la production au sein de l'OPEP n'étaient pas mises en œuvre face à des conjonctures politico-économiques défavorables, la production de pétrole se maintiendrait à son niveau actuel et c'est au niveau du prix du pétrole que les variations seraient plus importantes.

L'Algérie est un pays gazier plus que pétrolier dans la mesure où les réserves de gaz sont nettement plus importantes que celle du pétrole. L'évolution de la production, la consommation, l'exportation et les réserves de gaz pour la période allant de 1980 à 2012 est présentée sur le graphique suivant :



**Figure 1.3:** Consommation, exportation et réserves de gaz en Algérie de 1980 à 2012  
(BP, 2012 ; MEM, 2001-MEM, 2012).

En 2012, les réserves prouvées de gaz naturel atteignaient 4087.40 Mtep propulsant l'Algérie au 9<sup>ème</sup> rang mondial des pays disposant des plus importantes réserves de gaz naturel. Depuis le début des années 1980, la production de gaz naturel a pris une place de plus en plus importante dans la production totale d'énergie. D'après le «World Factbook», l'Algérie se retrouve au 7<sup>ème</sup> rang mondial des pays producteur de gaz naturel, ce qui confère à l'Algérie une place particulière au sein de l'OPEP. La production de gaz en Algérie qui était de 17.8 Mtep en 1980 est passée à 60Mtepen 1995 pour atteindre 111.70Mtepen 2012. Ces

productions se basent sur un taux de croissance moyen de 250 % entre 1980 et 1995 et 80 % entre 1995 et 2012.

Les prévisions énergétiques établies à l'horizon 2020 montrent que la production d'énergie primaire suffirait à peine à couvrir la demande nationale et les engagements en matière d'exportation (Boursas A, 2014). En effet, durant la saison estivale 2013, l'économie nationale et la collectivité ont subi de sérieuses perturbations en alimentation en énergie. Ces perturbations ont amené le gouvernement à prendre des mesures pour réduire la demande en énergie (APRUE, 2012).

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

Les relations entre les constructions et leur environnement climatique, en ce qui concerne l'impact des échanges thermiques, ont été particulièrement négligées en Algérie (Foura S, 2008). Mais, en raison de la crise de l'énergie, elles sont devenues un des principaux sujets de préoccupation des chercheurs dans le domaine de la construction. Il faudra aussi inciter la population, dans son ensemble, à utiliser des équipements énergétiquement performants (éclairage, appareils de chauffage et de climatisation) et, surtout, veiller à la bonne étude et réalisation des bâtiments selon les normes (AssylS, 210). Pour cela, un programme a été installé par l'agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (APRUE), qui a pour but de redéfinir le modèle national de consommation d'énergie et a pour missions : le recensement de la consommation d'énergie et son analyse, secteur par secteur tant à l'heure actuelle que dans leurs perspectives d'évolution, l'identification des foyers de gaspillages d'énergie, l'évaluation des gains possibles à réaliser dans chaque secteur et les financements nécessaires, la définition des moyens pratiques pour la rationalisation de l'utilisation de l'énergie, l'élaboration d'un plan de communication et mise en œuvre d'actions de sensibilisation (APRUE, 2012).

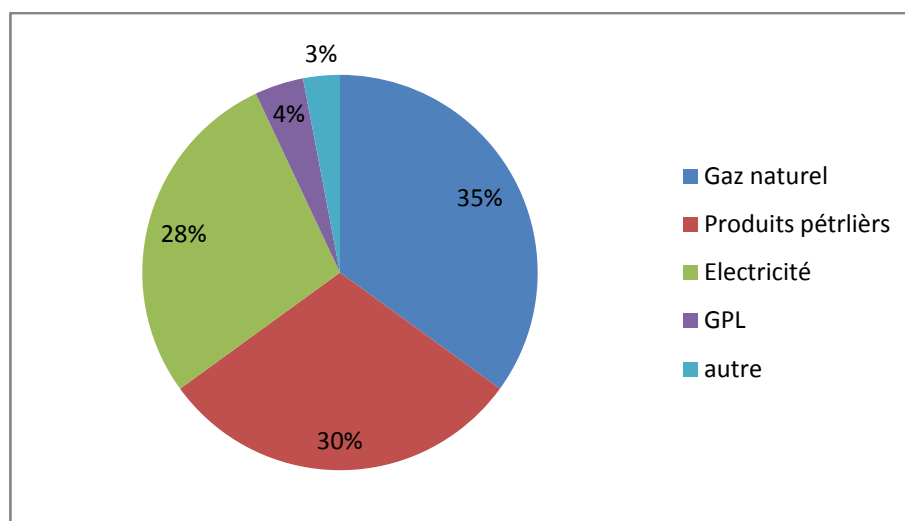
Le comportement des bâtiments du point de vue thermique en corrélation avec le climat et les conditions économiques, fait l'objet de nombreuses études et recherches dans tous les pays,

mais elles n'ont pas axées sur un climat pareil au climat Algérien. Par ailleurs, le système de consommation avec ses différentes composantes, l'industrie, le tertiaire, le résidentiel et le transport continuent à enregistrer des niveaux de fonctionnement plutôt modestes. Par conséquent, la stratégie du développement socio-économique entamée impliquera à court terme, une forte croissance de la demande en énergie et des besoins de financement d'où la nécessité d'une réorganisation du système de consommation, d'une bonne gestion de la consommation et d'une manière générale, d'une stratégie nationale de maîtrise d'énergie. On assiste depuis des années à une modification sensible de la structure par produit de la consommation finale en Algérie, les produits pétroliers restent le principal vecteur énergétique. Par contre, l'utilisation de l'électricité et du gaz naturel progresse et se substitue petit à petit au pétrole. Si l'augmentation générale de la consommation finale se rapproche à un taux élevé, cela cache de fortes disparités. Le secteur résidentiel apparaît donc bien comme une cible prioritaire pour la maîtrise de l'énergie.

La recherche et le développement des programmes informatiques en raison de la crise d'énergie avaient pour objectif d'optimiser efficacement l'utilisation de l'énergie dans le chauffage du bâtiment. La meilleure manière de réduire la consommation d'énergie dans les constructions est la conception d'une bonne enveloppe. Mais ceci, doit se faire dans le cadre d'une politique de réglementations thermiques afin de mieux conserver l'énergie, l'environnement, et surtout le confort des personnes. La responsabilité de l'architecte est non seulement la conception des espaces mais surtout le contrôle de l'ambiance intérieure thermique c'est-à-dire le confort

### **1.5. Consommation énergétique en Algérie**

En 2013, la consommation nationale d'énergie a été de 53.3Mtep avec une pénétration plus grande des produits gazeux, plus disponible dans le bilan des ressources. Concernant la consommation finale, le gaz naturel (35%), suivi par les produits pétroliers (30%) et l'électricité (28%). Elle a connu une croissance de +5,4% en 2013 pour atteindre 53,3 Mtep, tirée notamment par une hausse de la consommation du gaz naturel (+6,0%), des produits pétroliers (+5,5%) et de l'électricité (+4,3%)(MEM,2014).



**Figure 1.4:** Evolution de la consommation énergétique par forme d'énergie en Algérie.

La consommation globale d'énergie en Algérie, a été probablement multipliée par quatre entre les années 1980 et 2012

**Tableau.1.1:** Évolution de la consommation finale par habitant en Algérie (BM, 2014).

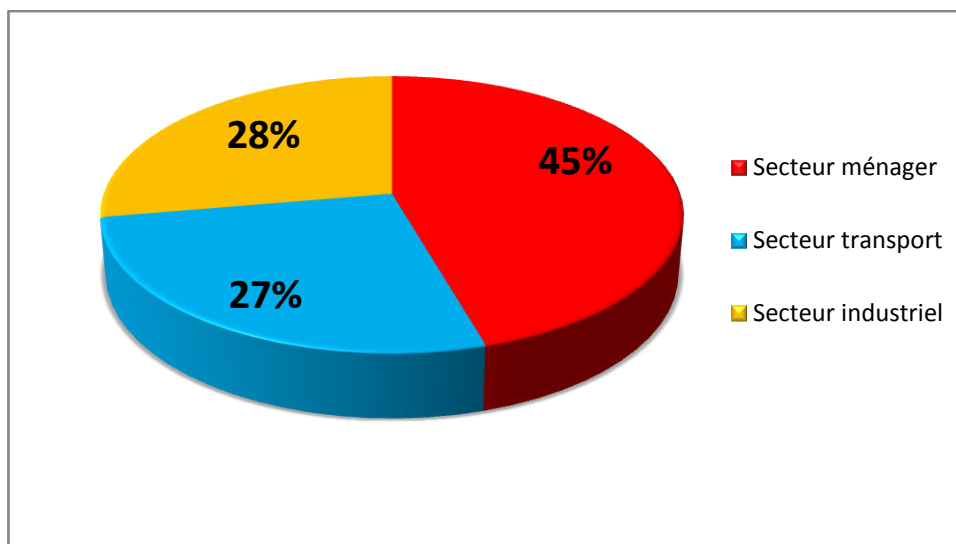
Période	1971-1975	1976-1980	1981-1985	1986-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2014
Consommation électrique kWh/an	158	271	412.2	486	540	607	766	892	1282
Consommation globale en tep/an	0.287	0.478	0.832	0.376	0.847	0.818	0.907	1.060	1.089

De 1971 à 1991, la consommation d'énergie par habitant en Algérie est passée de 0.287 tep par personne à 0.847 tep soit une augmentation de 300%. En 2014, cette consommation a atteint 1.089 tep soit une augmentation de 130 % par rapport à 1991.

### 1.6. Consommation énergétique en Algérie par secteur

D'après l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'énergie (APRUE), dans son rapport sur la consommation énergétique finale de l'Algérie, pour l'année 2013, le secteur le plus consommateur d'énergie est le secteur de ménage de 45%, ensuite l'industrie avec 28% et enfin le transport avec 27%.





**Figure.1.5:** Consommation d'énergie par secteur en 2013 (APRUE, 2013).

La consommation d'énergie finale par secteur d'activité entre les années 1980 et 2012 varie selon le tableau suivant :

**Tableau.1.2:** Consommation d'énergie dans les différents secteurs en ktep (MEM, 1980-MEM, 2012).

Année	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2012
Industrie et BTP	2609	4300	3874	4167	4512	5817	7948	8019
Transport	2598	3688	4384	4261	4654	5845	11215	13372
Ménage et autre	2863	5285	5942	7317	9188	12776	12415	15074

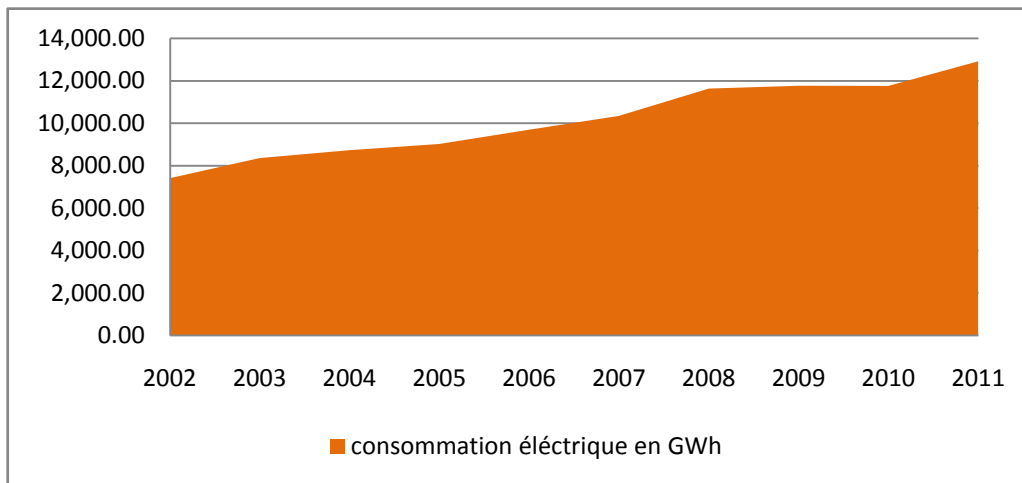
### 1.7. Consommation énergétique dans le secteur ménager en Algérie

La consommation d'énergie dans le secteur ménager en Algérie, a été probablement multipliée par cinq entre les années 1980 et 2012. L'électricité, le gaz naturel (en conduites ou en bouteilles), fuel, charbon, bois et même piles électriques sont les vecteurs d'énergie du secteur domestique. Les différents types d'énergie nous servent globalement à quatre différents usages. Le chauffage qui représente la plus forte dépense environ 60% de l'énergie domestique; L'éclairage, l'électroménager, l'audio visuel et la climatisation représentent près de 20% de l'énergie. L'eau chaude sanitaire nécessaire, représente près de 15%. La cuisson représente près de 5%. Sachant que, la consommation d'énergie finale par habitant est de 0.48 tep en 1990, son évolution passera de 0.71 Tep en 2000 à 1.35 Tep en 2010.

## Chapitre 1: Contexte énergétique dans le bâtiment.

---

Aujourd'hui, les besoins énergétiques de l'Algérie sont satisfaits, presque exclusivement, par les hydrocarbures.



**Figure 1.6 :** Evolution de la consommation électrique national dans le secteur ménager en GWh.

La lecture des données du bilan énergétique montre l'importance, souvent méconnue, de la consommation d'énergie dans le secteur Ménager dont la consommation électrique a atteint 7412 GWh en 2002 et 12915 GWh en 2012ktep, elle représente 35.12 % de la consommation totale d'électricité. Ainsi, il représente le premier secteur grand consommateur d'énergie électrique au niveau national. Selon les statistiques de 2012, la consommation électrique nationale de ce secteur a connue une évolution considérable (figure 1.6).

### 1.8. Consommation du gaz naturel et d'électricité

La consommation intérieure du gaz naturel a démarré en 1961 à un rythme de 156 millions de m<sup>3</sup>, et elle atteint 1.4 milliards de m<sup>3</sup> en l'an 2000. D'après les données statistiques relevées auprès des services de SONELGAZ (figure 1.4), on enregistre une évolution de la consommation de gaz où le recours à l'utilisation du gaz naturel a multiplié par 30 en l'an 2012 avec un rythme annuel de 4.6% d'évolution prévisible de la consommation. Quant à la consommation et à la production d'électricité, elles enregistrent une augmentation de 41,5% et 61,5% durant la période de 1980 à 2012. La consommation d'électricité en Algérie a augmenté durant les dernières années de 4% par an et la demande d'électricité devait à long terme croître de 7% par année. En outre, la distribution de l'électricité connaît depuis quelques années de fortes perturbations du fait d'une augmentation croissante de la demande intérieure due essentiellement à l'usage multiplié des climatiseurs surtout dans le secteur

d'habitat et tertiaire. Ceci conduit l'entreprise Sonelgaz à opérer des délestages pour rééquilibrer un appel de consommation devenu trop important.

Le potentiel énergétique en Algérie est assuré par deux réseaux. Le premier est le réseau électrique de 304,247 km en 2013. Le second réseau est celui du gaz naturel de 84,871 km en 2013(Ait-Mekideche M, 2013).

### **1.9. Climat et énergie en Algérie (Boumaouche N,2006)**

L'Algérie s'étend sur une superficie de 2.381.741 km<sup>2</sup>. Elle est comprise entre 18 et 38 de latitude nord et entre 9 et 12° de longitude d'ouest vers l'est. Le territoire algérien est caractérisé par une diversité de zones climatiques, classés en trois catégories, à savoir :

- Le « tell », concerne le nord du pays, dont le climat est typiquement Méditerranéen en, caractérisé par des étés chauds et relativement humide, et des hivers doux et pluvieux(400 mm à 1 000 mm de pluie par an). L'amplitude thermique est très faible.
- Les hauts plateaux, situés à l'intérieur du pays, caractérisés par un climat continental, dont les précipitations sont en moyenne comprises entre 200 et 400mm. La période froide (hiver) est caractérisée par des températures basses qui peuvent atteindre 0°C, Alors que, la période chaude (été) est sèche pendant laquelle la température peut atteindre parfois 40°C.
- Le sahara : s'érige sur une très grande étendue par rapport au tell (environ 4/5 de la surface totale). Située au sud, le désert est caractérisé par un climat aride : chaud et sec dont les précipitations ne dépassent pas 130mm/an. La période froide est très courte. L'amplitude thermique y est très importante (de 49 °C le jour à moins de 10 °C la nuit).Le rayonnement solaire y est très intense et dépasse parfois le 900 W/m<sup>2</sup>. Les vents sableux, secs et très chauds sont forts et fréquents, le plus célèbre est le siroco, qui peut atteindre le continent européen.

#### **1.9.1 Zones climatiques en Algérie**

Les travaux de zonage climatique ont été réalisés (GhedamsiR,2015).Le territoire Algérien a été subdivisé en zones climatiques homogènes en se basant sur l'analyse des données climatiques enregistrées par 60 stations météorologiques sur la période de 1999-2008 (10 ans).

### 1.10. Méthode de Degré-jours

La construction des zones a été effectuée selon le critère du nombre de degrés jours d'hiver et le nombre de degrés-jours d'été. Deux types de zonage ont été établis:

- Un zonage sur la base des degrés jours de chauffage à base 18°C ;
- Un zonage sur la base des degrés jours de climatisation à base 26°C.

Degré-jours de Chauffage : Mesure de la différence entre la température moyenne d'un jour donné par rapport à une température de référence et qui exprime les besoins en chauffage domestique.

$$CDD \text{ ou } (HDD) = \sum_{i=1}^{365} |T_m - T_b| \quad (1.1)$$

CDD : degré-jours de climatisation

HDD : degré-jour de chauffage

La notion de degrés-jours permet d'évaluer la rigueur de la saison de chauffage et de climatisation. Il est donc ainsi possible de comparer les besoins de chaleur de différents bâtiments ou d'un même bâtiment à diverses périodes, en s'affranchissant des variations dues au lieu et au moment, et par conséquent des variations météorologiques.

Cette méthode permet de mesurer les besoins en climatisation au cours des mois chauds d'été par rapport à une température de référence  $T_b$ . La température de référence utilisée est 26°C. Lorsque la température extérieure est supérieure à 26°C, les gains internes peuvent augmenter la température intérieure au-dessus des températures de confort et impliquent des besoins de climatisation.

Deux types de zonage ont été établis par (Ghedamsi R, 2015) :

- un zonage sur la base des degrés jours de chauffage à base 18°C.
- un zonage sur la base des degrés jours de climatisation à base 26°C.

Un zonage climatique unique pour les besoins de la réglementation thermique a été réalisé avec des fichiers climatiques annuels journaliers, sur la base des besoins thermiques annuels de chauffage et de climatisation des bâtiments dans 48 stations météorologiques.

La figure (1.7) présente la carte représentant le zonage climatique adapté aux besoins de la réglementation thermique dans le bâtiment :

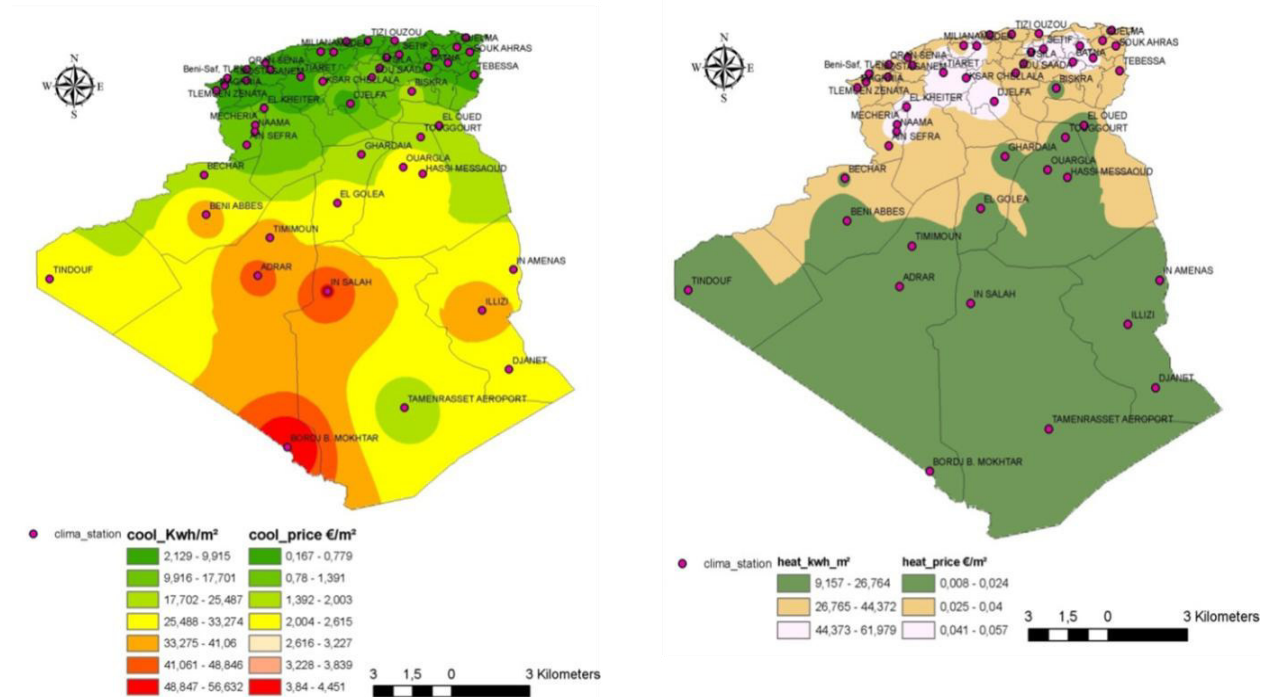


Figure 1.7 : Zonage climatique de l'Algérie adapté aux besoins de la réglementation thermique dans le bâtiment (Ghedamsi R, 2015).

Afin de déterminer la consommation d'énergie dans chaque zone pour le refroidissement et le chauffage la carte géographique de l'Algérie sera divisée en sept zones pour le zonage de refroidissement et en trois zones pour le zonage de chauffage.

Tableau 1.3: intervalles de climatisation et de chauffage (Ghedamsi R, 2015).

zones	Intervalles (€/m <sup>2</sup> )	
	Climatisation	chauffage
zone 1	3,821 - 4,451	0,008 -0,024
zone 2	3,191 - 3,821	0,024 - 0,040
zone 3	2,561 - 3,191	0,040 - 0,056
zone 4	1,931 - 2,561	-
zone 5	1,302 - 1,939	-
zone 6	0,672 - 1,302	-
zone 7	0,042 -0,672	-

### 1.11. Réglementation thermique algérienne et les expériences étrangères

L'amélioration de l'efficacité énergétique dans les bâtiments résidentiels et tertiaires en adoptant des réglementations thermiques appropriées contribuera à réduire l'intensité

énergétique dans les pays, indiquant l'impact positif des codes sur les consommations du secteur de la construction. La régulation thermique est un ensemble de lois qui visent à contrôler l'énergie dans le bâtiment, à assurer le confort des passagers, à réduire les émissions de polluants locaux et globaux et à réduire les coûts d'exploitation des bâtiments (chauffage et climatisation).

Les bâtiments jouent un rôle de filtre thermique qui permet de réintégrer son propre microclimat interne indépendant du climat extérieur. De nombreux paramètres affectent les caractéristiques de ce filtre, qui comprend la forme du bâtiment, son orientation, les éléments du bâtiment. L'ambiance interne ne répond pas toujours aux exigences de confort de l'utilisateur. Ceci conduit à l'utilisation des moyens de correction et améliore le confort et aussi une surélévation au niveau de consommation d'énergie.

Le souci de rationaliser l'utilisation de la consommation d'énergie excessive et la conception de bâtiments plus confortables, d'amener les différents acteurs dans le processus de conception et de gestion des bâtiments pour obtenir une meilleure connaissance et maîtriser le comportement de ces espaces.

### **1.11.1. Réglementation Algérienne**

La mise en application de la loi 99.09 relative à la maîtrise de l'énergie dans le secteur du bâtiment s'est concrétisée par la promulgation le 24 avril 2000 d'un décret exécutif n°2000-90 portant réglementation thermique dans les bâtiments neufs. Celle-ci a pour objectif l'introduction de l'efficacité énergétique dans les bâtiments neufs à usage d'habitation et autres et dans les parties de constructions réalisées comme extension des bâtiments existants. Les DTRC (Directives Thermique Réglementation C) initiés par le ministère de l'habitat et mis en œuvre par le CNERIB (Centre National d' Études et Recherches Intégrées du Bâtiment crée par décret n° 85-235 du 25 Août 1985).

La loi 99.09 sur la maîtrise de l'énergie dans le secteur du bâtiment a été mise en œuvre par la publication du décret exécutif n ° 90 de 2000 sur la régulation de la chaleur dans les bâtiments neufs. Le but de ce dernier est d'introduire l'efficacité énergétique dans les bâtiments neufs à usage d'habitation et autres et dans les parties de constructions réalisées. Les DTRC (Directives Thermique Réglementation C) lancé par le ministère, qui de l'habitat et mis en œuvre par le CNERIB (Centre National d' Études et Recherches Intégrées du Bâtiment crée par décret n° 85-235 du 25 Août 1985).

Ces documents, qui sont destinés uniquement les bâtiments résidentiels, rappelez-vous, entre autres, les exigences réglementaires Qui doivent rencontrer les enveloppes, à savoir:

- DTR.C 3-2, qui établit les règles de calcul des pertes de chaleur hivernales pour les bâtiments résidentiels.
- DTR.C 3-4 sur les règles de calcul de l'apport calorifique d'été pour les bâtiments résidentiels.
- DTR.C 3.31 sur la ventilation naturelle des bâtiments résidentiels.

Cette réglementation dont la finalité est le renforcement de la performance énergétique globale du bâtiment, laisse ainsi de larges possibilités aux concepteurs et aux maîtres d'ouvrage de choisir entre les performances thermiques globales du bâtiment aussi bien dans le choix des matériaux que la conception du cadre bâti. La mise en application de cette réglementation permettra d'après. Selon nos estimations, la mise en œuvre de Cette réglementation réduira d'environ 40% les besoins en calorifiques de nouveaux logements pour répondre aux besoins de chauffage et de climatisation. sa mise en application effective nécessitera notamment, sa vulgarisation auprès des bureaux d'études, des architectes et des promoteurs à travers notamment des journées techniques dédiées à cet effet. La finalité de de cette réglementation est d'améliorer la performance globale du bâtiment de l'énergie et la mise en œuvre et après APRU, 164 pour réduire les besoins calorifiques de nouveaux logements de l'ordre de 30 à 40% pour les besoins de chauffage et de refroidissement (Foura S 2008)

Malgré cet arsenal juridique est important, il faut reconnaître que, en Algérie maintenant, la réglementation thermique de 1997 des bâtiments à usage d'habitation a été conçue pour réduire la consommation de chauffage d'environ 25%. Il y a actuellement un retournement pour atteindre ce niveau d'économie de plus de 40%. Pour ce faire, des simulations numériques ont été réalisées sur des logements types. L'étude montre qu'en travaillant uniquement pour réduire les pertes thermiques par transmission, il est possible d'atteindre ce nouvel objectif avec une charge de refroidissement estivale significativement réduite. Il peut se fonder sur la nouvelle réglementation thermique sur deux principes: Le Livre de l'organisation dans la période allant de 1997 à un logement individuel, l'identification de nouveaux immeubles d'habitation résidentielle plus stricte des transactions réglementaires (SakhraouiS, 2002).

. Il ressort de l'étude qu'en agissant sur la seule limitation des déperditions thermiques par transmission, il est possible d'atteindre ce nouvel objectif tout en réduisant substantiellement la charge de climatisation d'été. Une nouvelle réglementation thermique pourrait s'articuler autour des deux principes suivants : réserver la réglementation de 1997 à l'habitat individuel, définir de nouveaux coefficients réglementaires plus contraignants pour l'habitat en immeuble collectif (Sakhraoui S, 2002).

### **1.11.2. Réglementation Tunisienne**

En 1985, l'Agence de la Maîtrise de l'énergie a été créée et en 2005 est devenue l'Agence nationale la maîtrise de l'énergie (ANME). L'Agence a pour mission de mettre en œuvre la politique de maîtrise de l'énergie de la Tunisie. En 1990, la première loi sur l'efficacité énergétique a été publiée (Osman, N, 2012)

La politique se trouve confirmée par l'édiction de nouvelles lois en 2004, 2005, 2008 et 2009. Ces dernières, relatives à la maîtrise de l'énergie, ouvrent la voie à la publication de textes d'application élaborant plusieurs programmes importants, tels que les certificats d'énergie des appareils ménagers, la réglementation thermique des bâtiments résidentiels et nouvelle consultation tertiaire, avant les grands projets de construction énergivores, etc.

Pour promouvoir l'utilisation rationnelle de l'énergie, la Tunisie a également mis en place un système de marquage des appareils et appareils électriques. Ces marques sont obligatoires depuis 2004 pour les appareils froids (réfrigérateurs, congélateurs et appareils combinés) et d'autres sont en cours de développement pour les climatiseurs et machines à laver. Ce processus d'étiquetage permet d'éliminer les classes d'appareils les moins performantes et d'élargir l'échelle pour accueillir de nouvelles catégories plus efficaces . En ce qui concerne l'évaluation, en plus de l'écoute permanente des réactions du public qui accompagne chaque action l'ANME réalise avec le support de la GIZ (Coopération Allemande) une évaluation annuelle afin de mesurer une multitude de paramètres qui servent à prendre des mesures correctives d'une année à l'autre (Amous M S, 2007).

### **1.11.3. Réglementation marocaine**

L'objectif annoncé par le gouvernement marocain est de réaliser une économie l'énergie primaire de 12% (2020) et 15% à l'horizon 2030 à travers la mise en place d'un plan d'efficacité énergétique dans les différents secteurs économiques. Parmi ces secteurs, le bâtiment un grand consommateur d'énergie avec une part de 25% de la consommation



énergétique totale du pays, dont 18% réservés au résidentiel et le reste pour le tertiaire. Cette consommation énergétique est appelée à augmenter rapidement dans les années futures.

La finalité de la réglementation thermique des bâtiments au Maroc (RTBM) vise principalement à améliorer les performances thermiques par :

- la réduction des besoins en chauffage et climatisation,
- l'amélioration du confort des bâtiments non climatisés,
- la mobilisation des professionnels du bâtiment à l'utilisation des approches de conception thermique performante de l'enveloppe du bâtiment
- la réalisation de diagnostics énergétiques des bâtiments existants.

Dans un premier temps, la RTBM ne couvrira que les bâtiments neufs. Cependant, dans le plan d'action marocain, le bâti existant sera ciblé par les audits énergétiques et suivis par des actions identifiées.

La RTBM proposée est une nouvelle réglementation thermique alliant l'approche de performance thermique et énergétique du bâtiment à l'approche de prescription technique. L'application de la RTBM permettra la réduction de 39 à 64 % des besoins thermiques de chauffage et de climatisation du secteur résidentiel et de 32 à 73 % du secteur tertiaire par rapport à la situation actuelle. Il est complété par un cadre législatif.

La loi-cadre 47-09 relative à l'efficacité énergétique dans le bâtiment englobe aussi bien des obligations dans les phases d'analyse du site à construire et des obligations dans la phase de conception du bâtiment. La loi prévoit les obligations telles que : la performance énergétique, l'efficacité énergétique, des études d'impacts énergétiques, des audits énergétiques, le contrôle technique et des incitations et pénalités. Les professionnels du bâtiment doivent de ce fait, s'adapter et se former à ses nouvelles exigences. Ils doivent également répondre aux différentes exigences par l'intégration de la conception bioclimatique, l'optimisation de l'enveloppe et des équipements (ANDERE,2012).

### **1.11.4. Réglementation dans le monde**

La réglementation étudiée ne donne aucune norme spécifique n'ayant trait au confort thermique (ASHRAE,1992)

L'organisation nationale de maîtrise de l'énergie dans les bâtiments, "IECC, International Energy Conservation Code ", se concentre sur la performance. L'objectif de la réglementation thermique américaine est de réglementer la conception des enveloppes de bâtiment afin qu'elles aient une résistance thermique suffisante et une faible perméabilité à

l'air. Le règlementations a étudié ne comporte aucun critère spécifique de confort thermique (ASHRAE, 1992)

La norme suédoise de construction, BAR 94, (2005) est une norme dictant les performances du bâtiment. Différents manuels complètent BAR 94, y compris une preuve d'isolation thermique. La BAR n'indique aucune exigence d'isolation de chaque paroi mais spécifie une isolation thermique moyenne pour l'ensemble du bâtiment. Cette norme laisse donc aux ingénieurs et aux architectes une grande liberté dans la conception des bâtiments (El kortbi M, 1999).

La réglementation thermique française a été mise en place pour limiter les consommations énergétiques liées au bâtiment. Elle s'intéresse au chauffage, au refroidissement, à l'eau chaude sanitaire, à l'éclairage, à la ventilation et aux auxiliaires (pompes, ventilateurs...). Sauf exception pour des bâtiments à usage spécifique, tout projet doit se conformer à la RT en vigueur. Actuellement, il s'agit de la RT 2005.

La réglementation thermique française a été mise en place pour réduire la consommation d'énergie liée au. Il bâtiment. Elle s'intéresse au chauffage, au refroidissement, à l'eau chaude sanitaire, à l'éclairage, à la ventilation et aux auxiliaires (pompes, ventilateurs ...). À l'exception des bâtiments à usage particulier, tous les projets doivent être conformes à la RT en vigueur. Actuellement, il s'agit de la RT 2005

La RT impose des valeurs minimales pour les isolations thermiques de chaque type de paroi (plafond, mur donnant sur l'extérieur, mur donnant sur un local non chauffé, etc.). Son enveloppe totale doit être meilleure qu'une enveloppe de référence calculée pour un bâtiment de dimensions équivalentes.

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

La réglementation ne considère que la période d'hiver. De la même manière que les normes françaises et américaines, il permet de choisir différents niveaux de calcul allant de la performance thermique de l'ensemble du bâtiment à des solutions standards. Des calculs plus avancés prennent en compte les entrées internes et les gains solaires. D'autre part, les calculs ne tiennent pas compte de l'inertie thermique. Comme en France, la Grande-Bretagne autorise une moins bonne performance thermique dans le cas où les habitations utilisent une source d'énergie autre que celle provenant de l'électricité (Markus T, 1980).

### 1.12. Conclusion

L'augmentation de la demande d'énergie est évaluable suivant diverses hypothèses, sa répartition géographique connue et les sources énergétiques identifiées. Un ensemble de voies est à explorer pour élaborer des solutions satisfaisantes à des degrés divers. Tous ces éléments significatifs renforcent l'urgence de la mise en œuvre de la notion de développement durable dans les activités humaines. La réflexion sur la maîtrise de l'énergie et sur la mise en œuvre d'énergies nouvelles renouvelables doit en permanence.

Ce chapitre montre que l'Algérie doit faire face à plusieurs défis dans le futur. Elle doit surtout repenser le problème de l'énergie dans sa globalité et prendre conscience de ses possibilités d'économies d'énergie. Le règlement général de construction fixant les règles de performance énergétique des constructions a pour finalité de réduire les besoins en chauffage et en climatisation dans les bâtiments, d'améliorer le confort thermique des occupants.

# **Chapitre 2**

## **Confort thermique et habitat**

### **2.1 Introduction**

Le confort thermique est probablement l'un des éléments venant le plus vite à l'esprit lorsque l'on pense au confort dans un bâtiment. Assurer une sensation de chaleur en hiver et préserver des surchauffes en été. Le confort thermique s'exprime à travers l'adaptation de l'ambiance thermique d'un bâtiment à ses occupants. S'il est essentiellement de l'ordre du ressenti et donc pas toujours mesurable, un certain nombre de critères permettent de l'apprécier. Trop souvent, Les modèles architecturale produits durant ces derniers décennies, ne prennent pas en considération les spécifiés climatiques et culturelles des régions.

Dans ce chapitre, nous exposerons la notion du confort dans le bâtiment, on traite les différents types du confort dans le bâtiment hygrothermique, visuel et thermique et nous définissons les différents facteurs qui contribuent au confort.

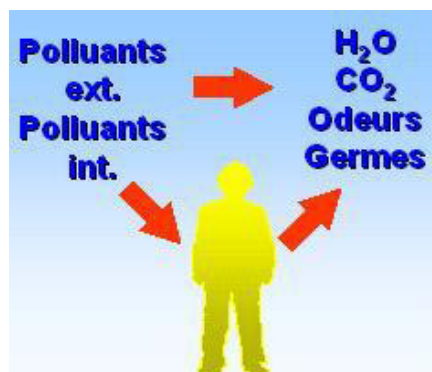
### **2.2 Notion de confort**

La norme ASHRAE 55P (2003) définit le confort thermique «cette condition d'esprit qui exprime la satisfaction de l'environnement thermique et est évaluée par une évaluation subjective». De nombreux facteurs influent sur le confort thermique, comme la température de l'air, la température de rayonnement, l'humidité relative, la vitesse de l'air, l'activité et les vêtements (Darby et al. 2005). La température de l'air et l'humidité de l'air sont les facteurs les plus fréquemment pris en compte dans le processus de conception conventionnel. Cependant, ils affectent seulement 6% et 18% du confort thermique, respectivement. D'autres facteurs, tels que la température des surfaces environnantes et la vitesse de l'air, représentent respectivement 50% et 26% de la perception du confort thermique (Mikler et al, 2008). Le confort thermique est un paramètre essentiel dans les bâtiments solaires passifs dans lesquels l'énergie solaire est collectée, stockée et distribuée (Goulding et al, 1992). Il n'est pas possible pour un groupe de personnes exposées aux mêmes conditions climatiques de la même pièce de ressentir du confort en même temps en raison de la variance physique (Çakir, 2006). Cette section traitera de la zone de confort, des cartes bioclimatiques et des modèles de confort thermique.

### **2.3. Confort respiratoire**

La qualité de l'air est importante pour les processus métaboliques et pour l'hygiène de chacun. Elle doit préserver l'individu des risques de contamination et de pollution dus aux

diverses substances en présence : germes pathogènes, molécules organiques, matières odorantes, gaz carbonique, poussières, fumées de tabac et particules radioactives. Les maisons bien isolées sont souvent très étanches. L'air ne s'y renouvelle pas suffisamment et il est fréquent de constater que la pollution intérieure de l'air est supérieure à la pollution extérieure. Aussi, la ventilation revêt-elle une importance croissante dans la problématique du confort et de l'hygiène des édifices. Le confort respiratoire est un facteur d'ambiance directement lié à la thermique de l'habitat : la purification de l'air implique son renouvellement par un processus de ventilation naturelle ou mécanique. Celle-ci constitue un élément de plus en plus important dans la consommation énergétique d'un bâtiment.(Mandallena C, 2006). Divers paramètres agissent sur la qualité de l'air (Figure 2.1.) et l'homme est extrêmement sensible à d'infimes variations dans sa composition. Par exemple, la proportion de CO<sub>2</sub> dans l'air frais est normalement d'environ 0,03 %. Lorsque cette teneur atteint 0,15 % en volume soit 1 500 ppm, l'air du local est considéré comme de l'air vicié. Au-delà de 4 000 ppm, des maux de tête et des problèmes de concentration apparaissent.



**Figure 2.1:** Les paramètres agissant sur la qualité de l'air (Benhlilou K, 2008).

Si le taux de ventilation d'un local est insuffisant, l'air y est rapidement vicié et l'ambiance devient de plus en plus malsaine : la respiration est moins active, une fatigue prématurée apparaît, le risque de contamination augmente. Dans le cas particulier des odeurs corporelles, la concentration en gaz carbonique est un indicateur fiable de l'état de qualité de l'air. L'homme rejette environ 20 l/h de CO<sub>2</sub> au repos, pour 500 l/h d'air expiré, et sa production est quasi proportionnelle à la production des odeurs corporelles.

**Tableau 2.1:** Facteurs et sources influant sur la qualité de l'air (Mandallena C, 2006).

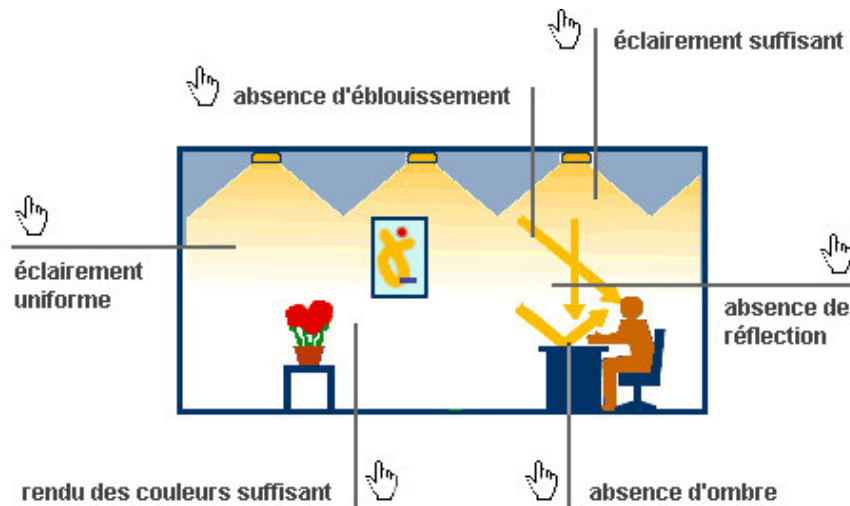
Facteur	Source
Température et taux d'humidité extrêmes	<ul style="list-style-type: none"><li>• Emplacement inadéquat des thermostats</li><li>• Mauvaise régulation de l'humidité</li><li>• Incapacité du bâtiment à compenser les changements climatiques extrêmes</li><li>• Equipement et procédés ajoutés par les occupants.</li></ul>
Dioxyde de carbone	<ul style="list-style-type: none"><li>• Respiration humaine</li><li>• Combustion de combustibles fossiles (p. ex. chaudières au gaz et à l'essence, dispositifs de chauffage)</li></ul>
Monoxyde de carbone	<ul style="list-style-type: none"><li>• Gaz d'échappement des automobiles (garage, quais de chargement, prises d'air)</li><li>• Combustion, fumée de tabac</li></ul>
formaldéhyde	<ul style="list-style-type: none"><li>• Panneaux de contreplaqué ou de particules non scellés</li><li>• Isolant d'urée-formaldéhyde</li><li>• Tissus, colles, tapis, meubles</li></ul>
particules	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fumées, prises d'air, papier</li><li>• Isolant des conduites, résidus aqueux, tapis</li><li>• Ménages des locaux.</li></ul>
Composés organiques volatils (COV)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Machines à copier ou imprimantes, ordinateurs</li><li>• Tapis, meubles</li><li>• Produit de nettoyage, fumée, peintures</li><li>• Adhésifs, produits de calfeutrage</li><li>• Parfums, fixatifs pour cheveux, solvants.</li></ul>
Ventilation inadéquate (apport insuffisant d'air extérieur, débit et circulation de l'air insuffisant)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mesures d'économie d'énergie et d'entretien</li><li>• Conception ou fonctionnement inadéquats du système</li><li>• Mauvais aménagement des locaux</li><li>• Dérèglement du système</li></ul>
Matière microbienne	<ul style="list-style-type: none"><li>• Matière humide et mouillées</li><li>• Humidificateur, plateaux de drainage de condensat.</li></ul>

### 2.4. Confort visuel

Le confort visuel est lié à la disponibilité d'un niveau de luminance suffisante tandis que, parallèlement à la diminution, du plus grand nombre possible d'autres stimulus provenant de l'environnement. Dans un environnement non-confortable, du point de vue visuel, le phénomène de l'éblouissement est introduit. Il y a deux sortes d'éblouissement: un

éblouissement de non confort/inconfort et un éblouissement d'incapacité. Le premier est dû à l'existence d'objets extrêmement brillants dans le champ visuel (Assimakopoulou M, 2004).

Le confort visuel est une impression subjective liée à la quantité, à la distribution et à la qualité de la lumière.



**Figure 2.2 :** Confort visuel (HQE, 2004).

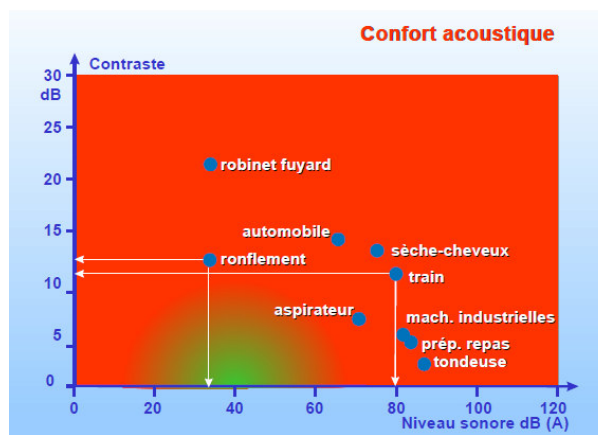
Afin de réaliser les conditions de confort visuel dans l'environnement intérieur des bâtiments, il convient d'assurer :

- un éclairage naturel optimal en terme de confort afin de profiter au mieux de la lumière naturelle ; le maître d'ouvrage doit assurer un niveau d'éclairage suffisant pour les tâches visuelles à accomplir et limiter les risques d'éblouissement produits par le soleil (direct ou indirect) ;
- un éclairage artificiel satisfaisant en l'absence ou en complément de lumière naturelle. Le maître d'ouvrage cherche généralement à obtenir un niveau d'éclairage artificiel suffisant et réparti uniformément pour la tâche visuelle à accomplir. Il cherche également à limiter les risques d'éblouissement par les luminaires et à avoir une qualité de la lumière émise satisfaisante en termes de rendu des couleurs et de couleur apparente.
- Afin d'éviter l'effet de compensation induit par le calcul d'une moyenne arithmétique entre locaux, il est préférable, lorsque le raisonnement est fait à l'échelle du bâtiment, d'introduire le pourcentage des locaux répondant à la préoccupation. Ce pourcentage dépend de l'usage du bâtiment.



### 2.5. Confort acoustique

Le son est la sensation auditive engendrée par la vibration d'un corps solide, qui fait fluctuer périodiquement la pression de l'air au niveau du tympan de l'oreille. Cette variation de la pression se représente sous forme d'une onde sinusoïdale dont l'amplitude caractérise le niveau de pression acoustique et donc le niveau sonore. La pression acoustique utilise une échelle difficilement utilisable, allant de 0,00002 à 20 Pascal. Pour pouvoir exprimer de manière plus aisée cette pression, les acousticiens adoptèrent la notion logarithmique de décibel pour identifier le niveau sonore. Ainsi, 0,00002 Pascal correspondent à 0 dB et 20 Pa à 120 dB (Nost G, 2007).



**Figure 2.3:** Plage de confort sonore (en vert) et bruits courants (LiébardA, 2005).

La figure 2.3 rassemble les critères de niveau sonore et d'effet de contraste en situant une plage de confort et la position relative de divers bruits courants. Bien qu'ayant un niveau sonore très inférieur, un ronflement peut être ressenti comme aussi inconfortable que le bruit d'un train. Il est également important de noter que l'absence de bruit ( $\text{dB} < 30$ ) n'est pas confortable (Liébard A, 2005).

### 2.6. Confort thermique

L'équilibre thermique est une partie essentielle d'un corps humain qui fonctionne bien et un sentiment de confort. Le corps humain essaie de maintenir une température stable autour de 37°C même s'il est exposé à des températures différentes. Les stimulations telles que la transpiration, l'augmentation ou la diminution du débit sanguin ou des frissons peuvent être observées comme mécanismes de régulation dans des conditions thermiques non désirées.

Mis à part les réponses automatiques, une personne chercherait activement l'ombre, la lumière du soleil, augmentant ou réduisant la quantité de vêtements pour répondre aux changements de température. Toutes ces réponses actives ou passives données nécessitent une consommation d'énergie dans une certaine mesure et distraient la personne du travail dans un environnement de bureau par exemple, avec le sentiment d'inconfort.

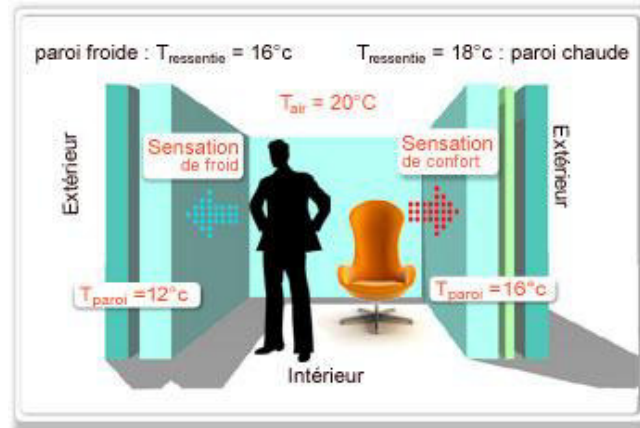
Le climat thermique est perçu différemment par différentes personnes, ce qui dépend de quatre facteurs environnementaux. Ces facteurs sont;

- Température de l'air
- Température radiante moyenne
- Vitesse de l'air
- Humidité relative

D'après les facteurs ci-dessus, la température de l'air et la température radiante moyenne affectent directement l'équilibre thermique du corps, cependant la vitesse de l'air et l'humidité affectent indirectement en changeant le taux d'évaporation et le tirage sur la peau. La saturation en eau de l'air entourant le corps modifie la convection et l'évaporation, c'est-à-dire la vitesse d'évaporation de la sueur. Bien que la transpiration à l'intérieur n'est pas une situation souhaitée, l'humidité aggrave également le problème. En plus des facteurs décrits ci-dessus, deux autres facteurs influent sur la susceptibilité d'une personne au climat thermique. A savoir, ce sont le taux métabolique du corps humain et la résistance thermique du vêtement. Le taux métabolique change avec le niveau d'activité et mesuré par l'unité (rencontré). 1 met équivaut à une production de chaleur de  $58 \text{ W / m}^2$ .

### 2.6.1. Définition du confort thermique

La notion de confort thermique, désigne l'ensemble des multiples interactions entre l'occupant et son environnement où l'individu est considéré comme un élément du système thermique (Cantin R, 2005), pour le définir on lui associe plusieurs paramètres, notamment (Thellier F, 1989).



**Figure2.4** : Confort thermique (Ecodom, 2013).

### 2.6.2. Sensation et confort

Le confort thermique est une sensation de bien être liée à de nombreux facteurs : le confort thermique est relié à une sensation de froid ou de chaleur. Cette sensation est subjective, et donc propre à chaque individu, notamment à son activité physique et son habillement. De plus, elle dépend de divers facteurs extérieurs. L'étude du confort thermique doit être menée en considérant des différents aspects physiques, physiologiques, et psychologiques.

#### 2.6.2.1. Aspect physiologique : la thermorégulation

L'homme dispose d'un système dynamique de thermorégulation qui permet de contrôler et de réguler les échanges de chaleur interne et externe du corps humain, afin de maintenir les températures du corps à leurs valeurs de consigne (Moujalled B, 2007). Deux types de thermorégulation peuvent être distingués: une thermorégulation physiologique végétative dont le but est de garder la température interne autour de  $37^{\circ}C$ , et une thermorégulation comportementale, qui permet d'anticiper les changements rapides dans l'environnement afin de limiter les réactions physiologiques (Candas V, 2000 ; Martinet C, 1999)

#### 2.6.2.2. Aspect physique : les échanges de chaleur

Le maintien de la température interne du corps humain autour de  $37^{\circ}C$  nécessite un équilibre thermique avec son environnement. Pour cela, la chaleur produite à l'intérieur du corps humain est véhiculée à sa surface cutanée doit être compensée par des déperditions de chaleur dans l'environnement. Si la chaleur produite dans le corps dépasse celle perdue à

l'environnement, le corps se réchauffe, sa température interne s'élève et dans le cas inverse il se refroidit avec un abaissement de sa température interne.

### **2.6.2.3. Aspect psychologique : sensation thermique**

L'aspect psychologique concerne le sens et le comportement de l'individu dans un environnement thermique. La sensation thermique correspond au côté qualitatif et quantitatif de l'état thermique. Ceci est lié aux messages sensoriels de différents thermorécepteurs. Cela dépend uniquement de la condition thermique personnelle et non pas de l'environnement thermique. La sensation du froid dépend de la température de la peau, et la sensation du chaud dépend de la température de la peau puis de la température interne (Moujalled B, 2007;Martinet C, 1999).

### **2.6.3. Facteurs du confort thermique**

Les relations entre l'individu et son environnement sont déterminantes dans l'estimation des situations de confort. Les différents facteurs qui interviennent dans l'estimation du confort thermique en extérieur sont :

- Les facteurs climatiques environnementaux
- les Facteurs liés à l'individu

Les relations entre l'individu et son environnement sont essentielles pour estimer les situations de confort. Les différents facteurs impliqués dans l'estimation du confort thermique extérieur sont:

- Facteurs climatiques environnementaux
- Facteurs liés à l'individu

#### **2.6.3.1. Facteurs climatiques environnementaux**

Dans la description des éléments liés au confort thermique, quatre facteurs sont pris en compte dans les changements temporels et spatiaux: la température de l'air, l'humidité, température radiative moyenne et vitesse de l'air (Benlatreche T, 2006).

##### **a. Température de l'air**

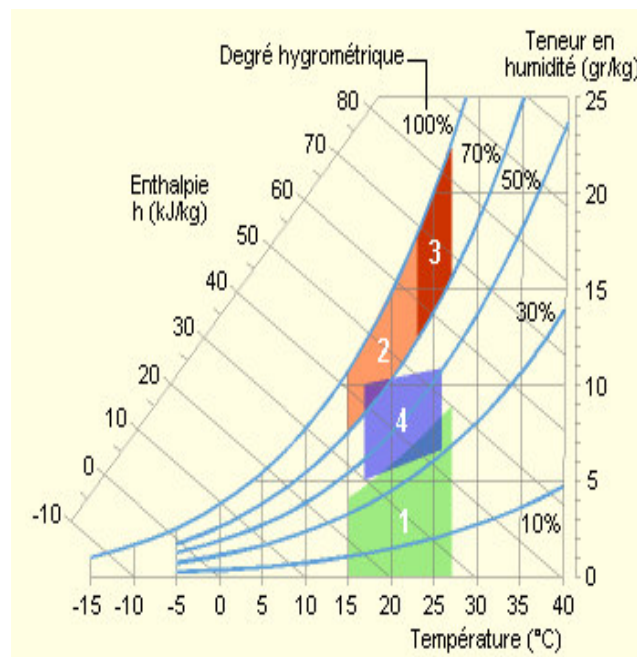
Le premier élément externe qui affecte le confort thermique est la température. Il y a 3 températures:

## Chapitre 2: Confort thermique et habitat.

- La Température de l'air ambiant: L'enveloppe de la maison doit être maintenue entre 19 et 26 ° C, malgré les différences de températures extérieures selon les saisons et les heures de clarté.
- Température du mur: Même si la température ambiante est agréable, le mur froid donne une sensation de froid et vice versa pour un mur chaud.
- J'ai senti la température, appelée température de fonctionnement: elle est calculée à partir de deux températures précédentes. Si le mur est trop froid il augmentera la température ambiante pour atteindre la zone de confort, mais la sensation est désagréable car la différence de température entre l'air ambiant et les murs ne sera pas plus faible. On estime que pour la différence de 3 °C entre la température ambiante dans les pieds et la température ambiante, 5% des personnes sont insatisfaites des conditions thermiques, à 6 °C, 40%.

### b. Humidité de l'air

L'humidité de l'air est mesurée en pourcentage et on estime que ce taux correspond à la zone de confort entre 35 et 70%. De même, la température du sol doit être comprise entre 19 et 29 ° C pour ne pas dépasser 10% des populations non-satisfaites.



**Figure 2.5:** Exemple de plage de confort sur le diagramme de l'air humide (Thiers S, 2008).

1. Zone à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse.
2. et 3: Zones à éviter vis-à-vis des développements de bactéries et de microchampignons.
3. Zone à éviter vis-à-vis des développements d'acariens.

### 4. Polygone de confort hygrothermique.

#### 2.6.3.2. Application à la ville de Ouargla :

La wilaya de Ouargla est caractérisée par un climat saharien, avec une pluviométrie très réduite, des températures élevées, une forte évaporation et par une faiblesse de la vie biologique de l'écosystème.

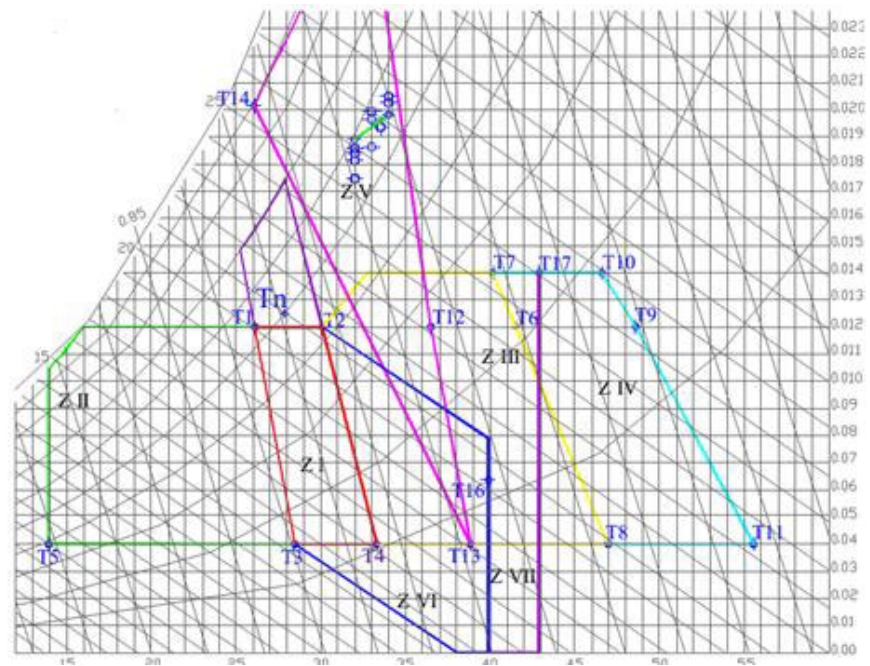
**Tableau 2.2:** Les données climatiques de la région d'Ouargla (O.N.M. Ouargla, 2004-2013)

Mois	Janv.	Fév.	Mar.	Avr.	mai	Juin.	Jui.	Aoû.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Tmin (°C)	5	6,9	11,4	15,2	19,8	25	28,3	27,6	23,4	17,6	10,6	6
Tmax (°C)	18,5	20,7	26,3	30,3	34,9	40,6	43,6	41,8	37,5	32	24,4	19
Tmoy	11,7	13,8	18,8	22,7	27,3	32,8	35,9	34,7	30,4	24,8	17,5	12,5
Pr (mm)	14,8	0,6	4,4	33,6	0,2	0,6	0,2	0,6	7,3	2,7	8,1	4,3

Les températures moyennes mensuelles enregistrées au mois le plus chaud (juillet) sont de 35,7°C. Alors que celles du mois le plus froid (janvier) sont de 4,9°C. Les précipitations sont rares et irrégulières et varient entre 0 mm et 33.6 mm par an. Pour la période de dix ans (2004-2013), le moi le plus pluvieux est Avril (33,6 mm) avec un cumul annuel atteint 77,4 mm.

Le Sirocco (vent chaud et sec) peut être observé à toute époque de l'année, avec une vitesse pouvant atteindre 4.2 m/s. L'humidité relative enregistre des taux allant de 25 à 61 %, alors que l'évaporation est très importante pouvant aller jusqu'à 484 mm.

L'étude quantitative du climat de la ville d'Ouargla révèle que le climat est justement, de type aride, conformément à la théorie de « De Martonne ». Les données climatiques de la ville de Ouargla permettent l'utilisation de la méthode de Szockolay.



**Figure 2.6 :** Diagramme psychométrique de GIVONI avec application sur la ville de Ouargla.

### c. Mouvement de l'air et la vitesse de l'air

La vitesse de l'air est un autre facteur à prendre en compte. En effet, le mouvement de l'air réduit la température ressentie car il accélère les échanges thermiques. Par ailleurs, pour une même vitesse d'air, la diminution de la température ressentie due au mouvement de l'air est plus importante si l'air ambiant est plus froid. Au-delà de 0.15m/s en hiver et 0.25m/s en été on ressent un courant d'air (Mazouz S, 2010). Afin d'éviter ce désagrément il est important de faire vérifier l'étanchéité à l'air de votre habitation.

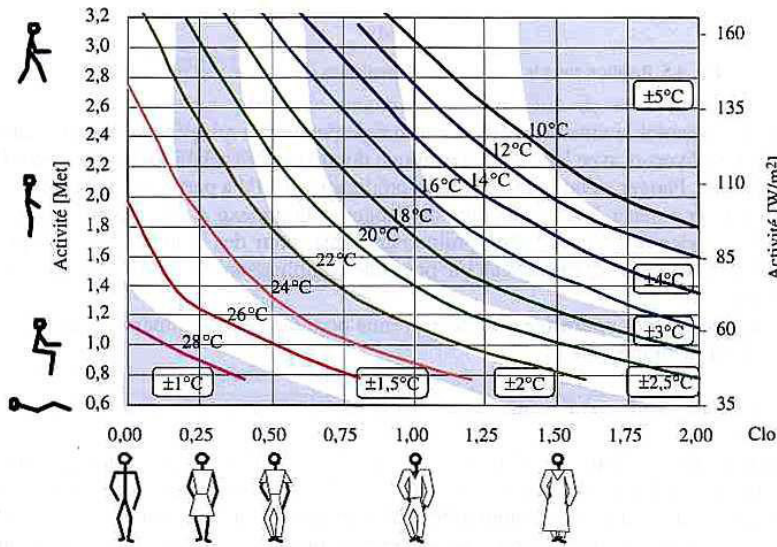
#### 2.6.3.3. Facteurs liés à l'individu

##### a. Vêtements

Les vêtements permettent de créer un microclimat sous-vestimental, à travers leurs résistances thermiques, en modifiant les échanges de chaleur, entre la peau et l'environnement. Leur rôle essentiel est de maintenir le corps dans des conditions thermiques acceptables, été comme hiver. La vêtue a un rôle primordial d'isolant thermique, notamment en période hivernale et dans toutes les ambiances froides, ce rôle est pris en compte à travers la définition d'un indice de vêtue, exprimé en Clo14, caractérisant la résistance thermique

**Chapitre 2: Confort thermique et habitat.**

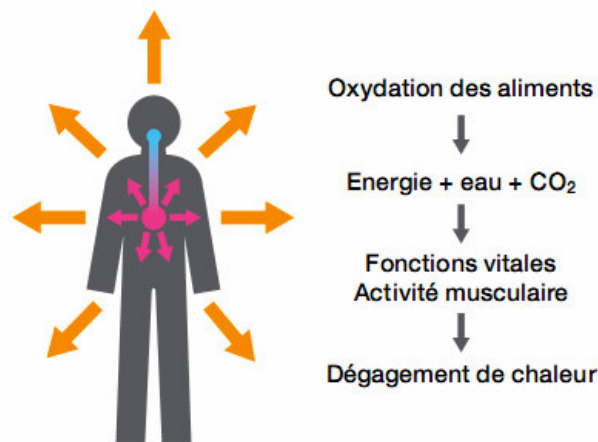
d'un vêtement (figure 2.7). La nature du tissu, la coupe des vêtements et l'activité du sujet influencent aussi ces échanges thermiques avec l'environnement.



**Figure 2.7:**Température opérative idéale en fonction du métabolisme (ISO EN 7730, 1994).

**a. Métabolisme**

Le métabolisme qui s'exprime en Met, représente la quantité de chaleur, produite par le corps humain, par heure et par mètre carré de la surface du corps au repos ainsi que la chaleur produite par l'activité humaine (Figure 2.8)(Merzeg A,2010). C'est une grandeur toujours positive non nulle, l'activité métabolique minimale vitale est évaluée à 0,7 Met, mais cette valeur est en fonction des paramètres physiologiques, notamment le poids, la taille, et le sexe. Selon Pierre Fernandez, on peut distinguer trois niveaux de métabolisme (Fernandez P, 2009).



**Figure 2.8:** Le métabolisme humain.



## Chapitre 2: Confort thermique et habitat.

---

- Métabolisme de base : nécessaire à la vie, il concerne la position couchée a jeun (la digestion consomme de l'énergie). Pour une personne « normalisée », ce métabolisme est de l'ordre de 75W.
- Métabolisme de repos : c'est la chaleur minimale produite dans des conditions pratiques de repos du corps, par exemple en position assise, ce métabolisme est de l'ordre de 105W.
- Métabolisme de travail : qui dépend de l'activité physique, comme exemple le travail de bureau, ce métabolisme est de l'ordre de 105 à 140 W.

### 2.6.3.4. Indice de confort thermique

Dans les bâtiments, les modèles du confort thermique les plus courants sont celui de Fanger (ISOEN 7730, 1994) et celui de Gagge (ASHRAE, 2008). Puisque la sensation thermique n'est pas suffisante pour exprimer le confort, Fanger a suggéré un autre indicateur qui complète le Vote moyen prévisible (PMV), le pourcentage prévu d'insatisfaits (PPD).

#### a. Vote moyen prévisible (PMV)

Il permet de calculer le vote moyen de sensation thermique pour un grand groupe de personnes en se référant à une échelle personnelle de 7 points allant de «très chaud» à «très froid» et des valeurs d'intensité de réponse (tableau 2.2.3): La zone de confort thermique varie de la sensation de la lumière à la sensation de chaleur légère, de -0,5 à + 0,5.

**Tableau 2.3 :** Vote moyen prévisible (PMV)

+3	très chaud
+2	Chaud
+1	légèrement chaud
0	ni l'un ni l'autre
-1	légèrement froid
-2	Froid
- 3:	très froid

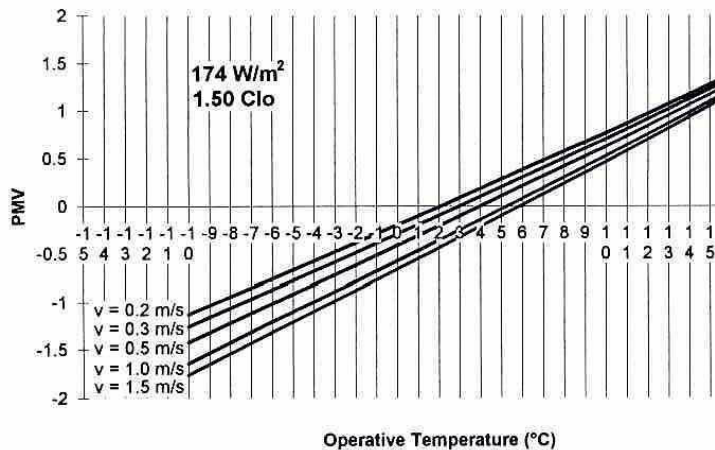
Une évaluation basée sur des calculs statistiques. Le jugement moyen est obtenu en faisant la moyenne des jugements faits par tous les matériaux dans un cas particulier. Un calcul du lien qui relie les six paramètres de confort peut être:

## Chapitre 2: Confort thermique et habitat.

- Propriétés physiques de l'environnement thermique (température de l'air, humidité de l'air, vitesse de l'air, radiographie ambiante)
- Activités et vêtements pour le sujet

$$PMV = (0.303^{-0.036M} + 0.028)L \quad (2.3)$$

L : écart entre chaleur produite et perdue (bilan thermique)

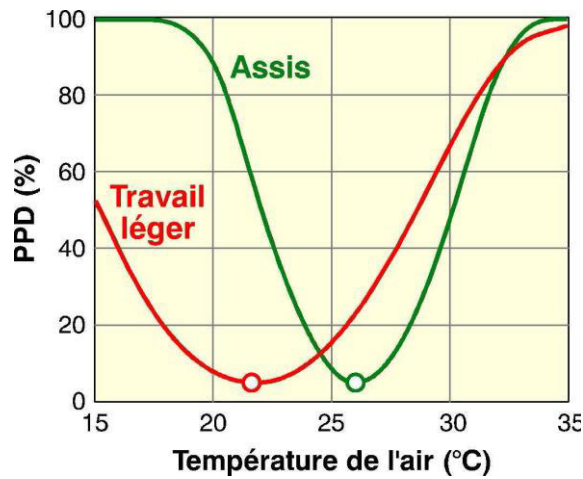


**Figure 2.9:** Relation PMV/température opérative/Vitesse d'air.

### a. Pourcentage prévu d'insatisfaits (PPD)

Le pourcentage prévisible d'insatisfaits (PPD –Predicted Percentage Dissatisfied) Donne, selon l'indice PMV de la situation thermique exacte, la proportion de personnes insatisfaites de la situation.

$$PPD = 1 - 0.95 \exp(-0.00353 PMV^4 - 0.2179 PMV^2) \quad (2.4)$$



**Figure 2.10 :** PPD en fonction de la température de l'air (Liébard A, 2005).

La figure 2.9 représente PPD en fonction de la température de l'air pour des groupes de personnes travaillant soit dans des fonctions stables soit dans des travaux légers, d'autres paramètres sont fixés. Ces courbes montrent qu'une augmentation de l'action métabolique entraîne un déplacement de la courbe minimale PPD vers des températures plus basses (plus de chaleur à perdre) et la propagation de cette courbe. On peut voir que pour un travail stable, la température optimale est d'environ 26 °C, la lumière de travail d'environ 22 °C. Les sujets avec le métabolisme travaillent plus légers et sont plus sensibles en termes de confort dans les basses variations de température ambiante.

### 2.6.3.5. Les échanges thermiques du corps humain

Ces échanges thermiques peuvent être quantifiés. Selon le modèle du Pr. Fanger, ils peuvent s'exprimer par les relations suivantes :

- **E<sub>cv</sub> : convection à la surface du corps:**

$$E_{cv} = h_{cv} \cdot S_{cv} \cdot (T_v - T_a) \quad (2.5)$$

Avec :

*h<sub>cv</sub>* : Coefficient d'échange convectif entre le corps et l'air ambiant

$$h_{cv} = \max [ 2.38 (T_v - T_a)^{0.25} ; 12.06 V_a^{0.5} ] \quad (2.6)$$

*V<sub>a</sub>* : vitesse de l'air

*S<sub>cv</sub>* : Surface du corps soumise aux échanges convectifs

$$Scv = FvSD \tag{2.7}$$

$SD$  : Surface du corps humain ( $SD = 0.203 \cdot p0.425 \cdot t0.725$ )

$p$  : Poids en kg

$t$  : Taille en m

$Fv$  :Facteur de vêtture ( $Fv = 1 + 0.77 Rv$ )

$Rv$  :Résistance de la vêtture (Tableau.2.4)

$Tv$  : Température du vêtement, fonction notamment de la température cutanée, du métabolisme thermique, de la résistance de la vêtture et de la température cutanée)

$Ta$ : Température de l'air ambiant

**Tableau.2.4** : Valeurs de résistance de vêtture

Tenue	$Rv$ ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )
Nu	0
Maillot de bain	0.008
Tenue d'été	0.077
Tenue d'intérieur d'hiver	0.155

**•Ery : rayonnement à la surface du corps**

$$Ery = hry \cdot Sry \cdot (Tv - Tr) \tag{2.8}$$

Avec :

$hry$ : Coefficient d'échange radiatif entre la surface du corps et les parois environnantes (de l'ordre de  $5.75 W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$Sry$  :Surface du corps échangeant par rayonnement

$Sry = FvFp \cdot SD$ (Facteur postural : 0.696 assis et 0.725 debout)

$Tr$  :Température radiante moyenne ( $Tr = TsiSi / Si$ )

$Si$ : Surface des parois

$Tsi$  :Température de ces surfaces

**•Ecr : convection respiratoire**

Il s'agit de la chaleur sensible évacuée par l'air expiré. On a:

$$Ecr = 1,4 \cdot 10 - 3M_{th} (34 - Ta) \tag{2.9}$$

### •Ehr : rejet d'humidité respiratoire

Il s'agit de la chaleur latente évacuée par l'air expiré.

On a:

$$hr = 1.72 \cdot 10^{-5} M_{th} (5886 - P_v) \quad (2.10)$$

Avec :

$P_v$  : Pression partielle de vapeur d'eau de l'air ambiant. Elle est liée à l'humidité relative ambiante.

### • Eps : perspiration

Ce mode de transfert correspond à la diffusion de la vapeur d'eau à travers la peau. L'eau à évaporer prend la chaleur latente. Cet échange est négligeable, il représente à 19 ° C à un taux de 50% de perte de grossesse. En ce qui concerne la libération d'humidité respiratoire, cet échange est fonction de l'humidité ambiante relative.

### • Ecd : échange par conduction

Ce mode de transfert se limite généralement à l'échange entre les pieds et le sol. Dans l'habitat cet échange est négligeable.

### • Esd : sudation

La transpiration est le transfert de chaleur et de masse du corps à l'humeur. La sueur est produite proportionnellement à l'activité du sujet. Lorsque les citoyens se déclarent en état de repos, on a:

$$E_{sd} = 0.42 (M_{th} - 10^5) \quad (2.11)$$

Comme les deux échanges précédents, l'échange par sudation est lié à l'humidité relative de l'air ambiant.

Il s'agit en fait d'une sudation insensible. Toutefois lors queatteint 47 W (70 g d'eau), cette sudation devient sensible et par conséquent inconfortable. On a atteint l'astreinte sudorale limite ce qui borne le niveau d'activité tel que  $M_{th} = 220 W$  environ.

Lorsque les mécanismes de drainage ci-dessus sont insuffisants pour évacuer la chaleur du corps, c'est la sueur qui prend et joue le rôle du régulateur tout en provoquant un état d'inconfort.

### a. Equation d'équilibre thermique du corps

Cette équation indique l'équilibre indispensable entre la puissance évacuée par les différents échanges du corps humain avec son environnement et le métabolisme thermique. On a L'individu se trouve en situation de confort si  $E_{sd}$  ne dépasse pas l'astreinte sudorale limite de 47 W et s'il n'y a pas de frisson. Si la somme des différents échanges n'est pas supérieure à  $M_{th}$  (Boutaba S. D, 2007).

### b. Température résultante sèche

Si on se place dans les conditions de l'habitat uniquement chauffé, les paramètres liés à l'ambiance sur lequel on peut agir sont la température de l'air et la température radiante moyenne des parois. Ces deux caractéristiques interviennent principalement aux niveaux des échanges convectifs  $E_{cv}$  et radiatif  $E_{ry}$  (Chatelat A, 1998). On peut écrire :

$$E_{cv} + E_{ry} = h_{cv} \cdot S_D (T_v - T_a) + h_{ry} \cdot S_D (T_v - T_{rm}) \quad (2.12)$$

$$E_{cv} + E_{ry} = h S_D (T_v - T_{rs}) \quad (2.13)$$

Avec :

$$T_{rs} = \frac{h_{ry} \cdot T_{rm} + h_{cv} \cdot T_a}{h_{ry} + h_{cv}} : \text{C'est la température résultante sèche.}$$

Dans les situations d'ambiances intérieures d'hiver courantes dans l'habitat  $h_c$  est de l'ordre de  $3.4 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  et  $h_{ry}$  de l'ordre de  $5.75 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ . Et on a :

$$T_{rs} = 0.55 T_{rm} + 0.45 T_a \quad (2.14)$$

### 2.6.4. Diagramme bioclimatique

Ce diagramme est basé sur des expériences. Il propose une succession de différentes régions voisines qui fournissent des informations sur l'environnement thermique et proposent des recommandations «bioclimatiques», utilisant des systèmes négatifs ou mécaniques pour contrôler le climat, à partir d'un cluster particulier, afin d'atteindre un confort optimal. Alors que les crises énergétiques des années 1970 ou aujourd'hui, les architectes sont toujours encouragés à réviser leurs conceptions afin de réduire la consommation d'énergie importante.

## Chapitre 2: Confort thermique et habitat.

Cependant, l'application des conclusions de ces opérations sur le terrain trouve de nombreuses limites et reste très limitée (Mazouz S, 2010).

Parmi, ces méthodes, on peut citer : le diagramme bioclimatique de « Olgyay », B. Givoni, la méthode de Mahoney et le diagramme bioclimatique de S. Szokolay.

### 2.6.4.1. Diagramme bioclimatique d'Olgyay

V. Olgyay, est le premier chercheur à établir une méthode systématique d'adaptation des bâtiments aux exigences humanitaires et aux conditions climatiques. Cette méthode a été développée en utilisant des tests expérimentaux dans les zones climatiques aux USA, basés sur la zone de confort en fonction des éléments climatiques: température de l'air, humidité, vitesse de l'air, température moyenne du rayonnement, rayonnement solaire, évaporation (Mazouz S, 2010). Il sent aussi, à partir de laquelle, l'occultation du soleil est souhaitée. (30%) et (65%). Ceci est uniquement valable pour les conditions climatiques externes au-delà de la zone de confort (ci-dessus ou ci-dessous) Le graphique fournit des recommandations pour ajuster l'environnement thermique pour un confort optimal, refroidissement par évaporation, périodes chaudes et sèches ou chauffage pendant la saison froide Faible chaleur (figure 2.11).

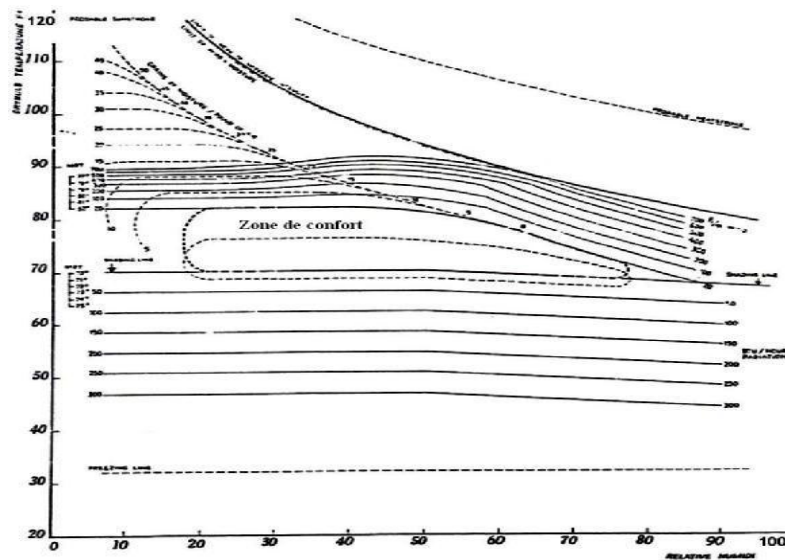


Figure 2.11 : Diagramme d'Olgyay(OlgyayV, 1962).

Cependant, cette méthode a été fortement critiquée car son objectif principal était l'efficacité du travail plutôt que le confort thermique et elle s'applique aux climats chauds et humides 1 et aux constructions légères, car il n'y a pas de différence significative entre les conditions climatiques internes et externes.

### 2.6.4.2. Diagramme bioclimatique de Givoni

Ce diagramme est dessiné accentué, au repos ou engagé dans une activité sédentaire, avec un vêtement approprié. Si les températures sont élevées, les vêtements sont considérés légers, à l'envers, et le comportement est fermé 1. Il est également supposé que l'apport solaire direct à travers les fentes et les parties opaques des enveloppes est négligeable, grâce aux opérations de bougies solaires d'été. Ce graphique de psychologue utilise quatre paramètres: la température sèche, la température humide, l'humidité absolue et l'humidité relative afin d'évaluer les besoins individuels en matière de confort, et ainsi déterminer la zone de confort qui s'attache aux zones d'intervention. , Lorsque des dispositifs architecturaux ou techniques sont fournis pour surmonter des conditions climatiques instables. La figure 12.2 montre les zones d'influence créées par Givoni et Milné, qui sont les suivantes:

- « C » : zone de confort en air calme, elle est indépendante des caractéristiques des constructions.
- « V » : Zone d'effet de la vitesse de l'air, effet de la vitesse de l'air sur l'évaporation de la peau par échange thermique. Et évite le phénomène de condensation sur les murs des bâtiments. Cette zone signifie uniquement les caractéristiques du bâtiment en termes de capacité de ventilation, d'autant plus que la vitesse de l'air peut être obtenue par l'utilisation de ventilateurs.
- « I et I' » : Cette zone, une double zone d'effet d'inertie, désigne les propriétés des bâtiments, du point de vue de l'inertie de masse, divisés en deux sous-régions: l'une du côté des basses températures et l'autre du côté inférieure. Que les températures élevées. Cela conduit à la possibilité de réduire les variations de température interne pendant les périodes chaudes ou froides, de sorte que le point représentatif de l'environnement reste en «C» ou «V».
- « VN » : La zone d'influence de la ventilation nocturne importante est associée à une forte inertie par absorption, il est d'autant plus important que le cycle jour / nuit soit



## Chapitre 2: Confort thermique et habitat.

contradictoire. Cette zone dépend des propriétés inertielles de la construction et du potentiel de ventilation.

- « RE » : La zone de refroidissement évaporatif par évaporation est seulement relative au cas de la mesure de l'humidité dans l'air et ayant une grande capacité à absorber la vapeur d'eau.
- « AS » : zone d'influence de captage solaire passif, elle n'a d'intérêt que pour les basses températures. Elle concerne les possibilités de captage d'énergie par les vitrages du bâtiment.
- « H, DH, AC » : zone d'obtention artificielle du confort thermique, elle touche, les types de climats suivants :
  - Chaud et Humide « DH » : c'est une zone de déshumidification afin d'atteindre le confort
  - Chaud et Sec « AC » : c'est une zone de refroidissement ;
  - Froid « H » : c'est une zone de chauffage pour atteindre le confort optimum.

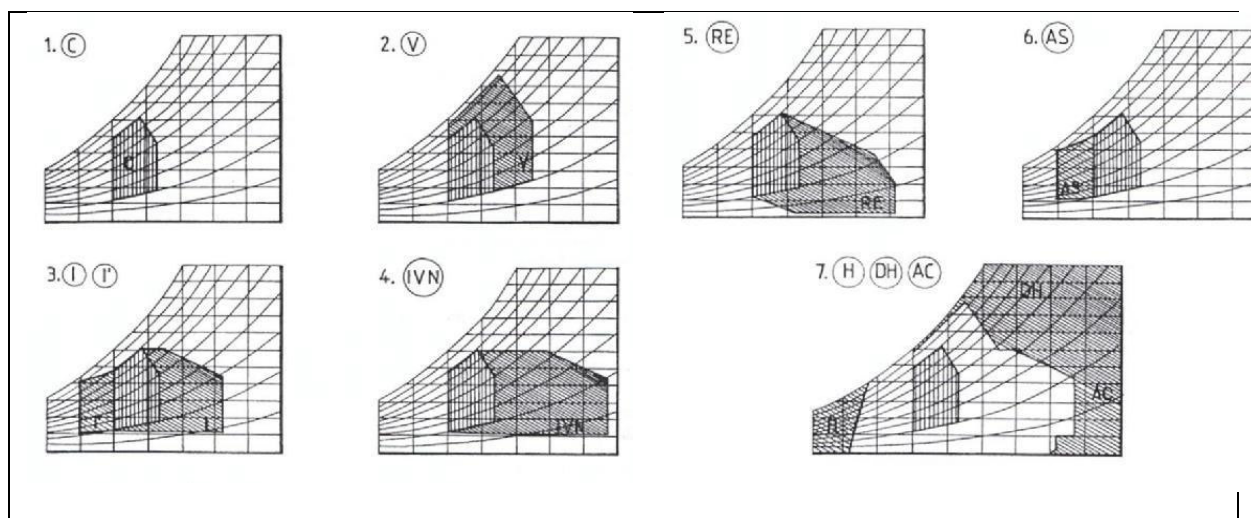


Figure 2.12 : Diagramme bioclimatique de B. Givoni (Chatelet A, 1998).

### 2.6.4.3. Diagramme bioclimatique de S. Szokolay

S. Szokolay a établie un outil d'évaluation bioclimatique, le plus récent (1987), qui est inspiré des travaux antérieurs comme ceux, d'Olgay et de Givoni, mais largement plus développé, car il a essayé d'intégrer quelques conclusions de certaines recherches, comme celles de Humphrey (1978) et Auliciems (1981) sur la définition de la température neutre et la température effective standard d'ASHRAE , Pour déterminer les zones de confort pour

chaque saison en fonction du climat local, il identifie avec précision les zones de contrôle possibles pour les différentes interventions. Cette méthode prend en compte les stratégies de conception de bâtiments négatives telles que l'inertie thermique, l'utilisation de systèmes de refroidissement par évaporation et la ventilation nocturne. Ceci, lorsque le point représentatif en dehors de la zone de confort.

### 2.6.4.4. Tableaux d'analyse bioclimatique de Mahoney

La méthode de C. Mahoney est basée sur un nombre important de facteurs climatiques et de la durée de leur effet, tels que les températures, humidité relative, précipitation, orientation des vents, ainsi que la notion de confort diurne et nocturne (Hussein H, 2012). Ce processus consiste en un diagnostic détaillé et la détermination des seuils de confort et de nuit, à travers lesquels il donne des indicateurs et des recommandations architecturales relatives aux axes suivants:

- Directions et aménagement des installations: La méthode propose d'allonger le bâtiment selon l'orientation, l'espacement des bâtiments, la protection contre le vent et la pression sur le tissu.
- Caractéristiques des éléments architecturaux: Cette méthode propose certaines proportions d'ouvertures par rapport aux surfaces solides, leur localisation par rapport aux directions, ainsi que leur protection. En outre, il donne des indications sur les propriétés physiques des matériaux de construction au niveau des murs, des sols et des plafonds.
- Les espaces extérieurs Mahoney recommande l'utilisation des espaces extérieurs ou intermédiaires : cours, patios, terrasses, etc, Si les conditions climatiques l'exigent, en imposant un système de drainage adéquat. Sachant que ces espaces joueront un rôle très important pour le confort des passagers, ils permettent une ventilation manuelle, un éclairage amélioré et une exposition réduite au rayonnement solaire des surfaces bâties. D'autre part, il travaille à la réalisation de nombreuses activités familiales et facilite les déplacements saisonniers en quête de fraîcheur durant l'été, notamment (Hussein H, 2012).

## 2.7 Conclusion

Ce que l'on peut déduire de ce chapitre, après avoir passé en revue, les notions générales sur le climat et le confort humain. C'est qu'il existe une interaction entre l'homme et son environnement immédiat, visant en premier lieu l'équilibre thermique du corps. Le métabolisme humain nécessite le maintien de cet équilibre thermique, considéré comme l'un

## **Chapitre 2: Confort thermique et habitat.**

---

des principaux besoins, pour la santé et le confort. Là où il se trouve et à n'importe quelle latitude, l'homme est à la recherche perpétuelle de cet équilibre avec le milieu extérieur, qui dépend de la combinaison de nombreux éléments. Certains sont d'ordre individuel comme les vêtements et l'activité, etc. ; et d'autres sont d'ordres climatique, tel que la température de l'air, le rayonnement, l'humidité et les vitesses de l'air. En effet le confort thermique et de bien être est une exigence essentielle dans les milieux bâtis, Il est estimé essentiellement en fonction des paramètres climatiques extérieurs.

# **Chapitre 3**

**Etat de l'art des bâtiments à basse  
consommation d'énergie**

### 3.1 Introduction

Avec les préoccupations grandissantes du développement durable, le secteur du bâtiment doit répondre à deux exigences primordiales: maîtriser les impacts de la consommation des énergies fossiles sur l'environnement extérieur, et assurer des ambiances intérieures saines et confortables. Le confort peut être défini comme étant le degré de désagrément ou de bien-être produit par les caractéristiques de l'environnement intérieur d'un bâtiment. Une telle définition considère une interaction entre l'individu et l'espace qui l'entoure, c'est-à-dire, entre des conditions ambiantes physiquement mesurables et certaines conditions individuelles qui affectent notre perception<sup>1</sup>. La qualité de vie à l'intérieur de l'espace a été souvent rapprochée à une appréciation thermique en premier lieu.

L'adaptation des constructions aux facteurs climatiques s'est faite spontanément, et au travers des siècles, les très civilisations ont développés des solutions pratiques en rapport avec le climat à travers les époques et les civilisations. L'intégration du facteur climatique dans la conception urbaine et architecturale n'est pas nouvelle « La démarche bioclimatique que l'on considère aujourd'hui comme une nouveauté n'est en fait que le prolongement de certains savoir-faire que se transmettait jadis des « non-architectes ».

Cependant, concevoir un bâtiment bioclimatique requiert de l'architecte une culture technique minimale, basée sur la connaissance des phénomènes physiques en jeu et qui consiste en la compréhension de la composante énergétique à travers ses manifestations (transfert d'énergie et de masse...) et son impact sur l'occupant en termes de confort thermique. Le but est donc de pouvoir continuer à assurer l'abri et le confort de l'utilisateur tout en minimisant la consommation d'énergie pour la climatisation et le chauffage ainsi que l'impact du bâtiment sur l'environnement.

### 3.2. Habitat traditionnel

L'homme a très peu d'adaptation naturelle au climat. Il doit lutter contre son environnement climatique par : la climatisation, le vêtement, l'abri. L'adaptation au climat est une des composantes de l'habitation traditionnelle. Bâtir une maison, c'est aussi transformer un environnement extérieur hostile en un microclimat intérieur agréable (ViaroA, 1983).

L'habitat traditionnel constitue la plus grande partie de l'environnement bâti de l'homme, l'analyse de la conception et de l'utilisation de cet habitat fait apparaître, pleinement, La somme extraordinaire, de connaissances techniques (particulièrement en termes d'économie

d'énergie et de matériaux) de possibilité d'adaptation contenue dans l'habitat traditionnel fait partie du patrimoine humain.

Les études sur l'architecture traditionnelle et leur adaptation au climat chaud sont jusqu'à présent nécessaire pour répertorier l'ensemble des techniques traditionnelles passives de régulation thermique.

#### 3.3. Matériaux de construction

L'homme a utilisé les matériaux les plus disponibles et les moins coûteux qu'il peut trouver : ceux qui se trouvent à sa portée, ressources du sol, du sous-sol, du couvert végétal, qui ont l'avantage d'être facilement exploitables, renouvelables et adaptées à son environnement.

Il existe quatre catégories de matériaux : la terre, la roche, les végétaux, et les matériaux d'origine animale. Les figures (3.1, 3.2, 3.3) présentent des exemples de constructions traditionnelles.



**Figure 3.1:** Habitat construite entièrement en matériaux végétales (Bencheikh H, 2007)



**Figure 3.2 :** Habitat en tissage (Akchiche Z, 2011)



**Figure 3.3:** Usage de matériaux locaux (la pierre) à Ouargla

### 3.4. Techniques et matériaux de construction en zone aride

Les matériaux, en tant qu'enveloppe du bâtiment, créent une barrière entre l'intérieur et l'extérieur et modifient les échanges thermiques. Selon le mode de transmission de la chaleur, un matériau se caractérise par ses propriétés, sa conductivité, ses capacités à l'égard du rayonnement solaire et terrestre, sa capacité calorifique, sa masse volumique et sa surface, qui influencent les échanges par convection. Ainsi, le confort thermique peut s'améliorer en modifiant les propriétés des éléments maçonnés par l'isolation. On isole autant pour contenir la chaleur dehors que dedans.

#### 3.4.1. Matériaux traditionnels

Pour choisir les matériaux de construction adaptés au climat chaud, deux caractères d'ambiance revêtent une grande importance: la température maximale et l'amplitude diurne (liées à la tension de vapeur d'eau), lesquels dépendent du rayonnement solaire absorbé en relation avec l'orientation et la couleur externe du bâtiment. Les propriétés thermo-physiques les plus importantes sont la résistance thermique et la capacité calorifique, souvent, exprimées par le produit (Q.R). L'habitat traditionnel au Sahara présente un aspect particulier. La présence de gisements importants d'argile et de gypse a favorisé l'usage de matériaux tels que le Toub et le Timchent.

La terre est un matériau de construction millénaire. Elle est l'un des matériaux les plus connus dans le monde pour ses propriétés thermiques, sa large disponibilité et son faible coût. Crue, elle est utilisée selon diverses techniques : Pisé, Torchis (terre sur ossature en bois), adobe (Dethier J, 1981). En Algérie, l'usage de la terre est très ancien. Elle était utilisée autant dans les campagnes que dans les villes, le toub est plus fréquent que l'épisé. Les maisons traditionnelles sont faites de terre associée à d'autres matériaux (végétaux ou minéraux). Toub qui est une brique d'argile et de sable séché au soleil, souvent, armée de fibres végétales (paille, hachures de palme), est un matériau très avantageux: économie, isolation thermique, résistance à l'écrasement. Mais, sensible à l'humidité et à l'érosion. Il est utilisé, traditionnellement, sous forme de parpaings (15x20x40). Le mélange d'argile et de sable est noyé d'eau, puis compacté à la dame et séché au soleil. Parfois, les parois sont revêtues d'un enduit à base d'argile appliquée à la main. Le Toub est l'un des matériaux le plus ancien en zones sahariennes, car c'est un mélange de sable et d'argile, sans adjuvant stabilisateur ou liant; la cohésion du mélange provient, seulement, de l'argile. Une teneur élevée en argile provoque, cependant, la formation de fissures dans les blocs de Toub. Néanmoins, une stabilisation efficace peut se réaliser par l'addition au mélange de 5 à 10 % de chaux (Bardou P, 1978).

### **3.5. Facteurs liés à la conception**

En plus de ces dispositifs généraux qui sont pris pour un village, une agglomération, ou une ville, des dispositifs particuliers sont aussi pris pour les bâtiments : l'orientation, le type de matériaux de construction et la forme.

#### **3.5.1. Inertie de l'enveloppe**

Les types de matériaux de construction utilisés en général sont ceux qui favorisent surtout l'isolation thermique du bâtiment (paille par exemple), lui assure une inertie thermique pouvant entraîner un déphasage horaire variant entre 6 à 8 heures, le maximum de température est alors atteint en début de la nuit ou la température extérieure est inférieure à celle de l'intérieur; toutes les fenêtres et les portes sont alors ouvertes, un refroidissement rapide de l'intérieur du bâtiment y améliore le confort, et réduisent fortement l'absorption du rayonnement solaire (chaux, peintures sélectives, blanches ).



### 3.5.2. Orientation

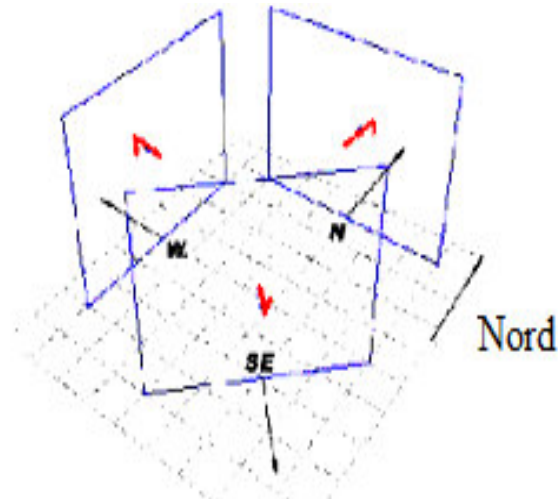
L'orientation d'un bâtiment est la direction vers laquelle sont tournées ses façades. C'est -à-dire la direction perpendiculaire à l'axe des blocs.

L'orientation se rapporte à l'angle d'azimut d'une surface à Nord vrai relatif; la direction générale dans laquelle une surface fait face. Tandis que l'orientation réelle est habituellement donnée en degrés du nord (à partir de l'orientation nord), elles peuvent également être données en général des directions telles que (N) du Nord, (S)du Sud, (NE)du Nord Est,(O)de L'Ouest. Comme c'est montré dans la figure (3.4).

(Givoni 1969) a indiqué que la quantité de rayonnement reçue par le bâtiment est déterminée par l'orientation. (Karasu 2010) a montré que l'orientation a une influence significative sur la charge de refroidissement. Dans les zones où le confort est acquis principalement par le mouvement de l'air, il est important d'orienter le bâtiment en fonction des vents dominants. Dans les régions où la température ambiante a une plus grande influence sur le confort de la ventilation, l'orientation par rapport au soleil est importante. Une orientation nord-sud des façades principales est préférable, puisque le soleil d'été pénètre les façades et les ouvertures seulement marginalement dans ces directions, tandis qu'en hiver, lorsque la trajectoire du soleil est plus basse, possibilité d'accès solaire (Rosenlund, 2000).

Goulding et al. (1992) ont montré quelques stratégies pour l'orientation du bâtiment. Ces stratégies visent à maximiser le potentiel de collecte solaire à travers l'orient du côté le plus long du bâtiment pour faire face au sud. En outre, il a discuté de l'effet de l'orientation des façades dans les logements multifamiliaux. Il a mentionné que les appartements avec plus d'un mur extérieur auront des pertes de chaleur plus importantes que ceux avec un seul mur extérieur. Les pertes d'un appartement situé au coin nord-ouest du dernier étage d'un immeuble conventionnel peuvent être deux fois plus importantes que celles d'un appartement situé au milieu de la façade sud.

Une orientation appropriée peut contrôler la quantité de rayonnement solaire et le vent entrant dans un bâtiment. Une bonne orientation et l'emplacement des bâtiments permettent une protection contre le soleil et le vent



**Figure 3.4:** Exemple de surfaces pour différentes orientations à partir du Nord(Saad W, 2013).

Dans le climat méditerranéen, où le soleil est souvent présent dans le ciel, c'est l'orientation qui définit la quantité d'énergie solaire incidente sur une paroi verticale, et cette quantité d'énergie est la principale cause de l'exigence de protection solaire. Selon une étude menée par le groupe ABC de Marseille et à partir des deux critères(Achour-Bouakkaz N, 2006):

- Quantité d'énergie solaire incidente sur la paroi,
- Concomitance des moments où l'énergie incidente et la température d'air sont maximales,

Il est possible de répartir les orientations sur un cercle en quatre classes: Nord, Est, Sud et Ouest, comme le montre la figure (3.5):

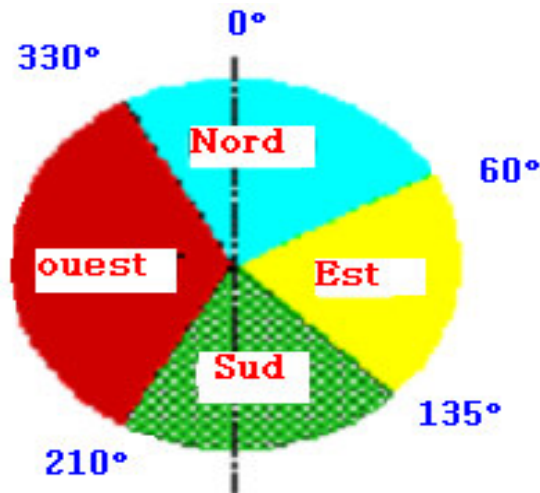


Figure 3.5: Classes d'orientations pour le climat méditerranéen en été(ABC Marseille, 1999.).

L'azimut de la paroi verticale suivant l'orientation est déterminée suivant la figure II.9, l'azimut égale à  $0^\circ$  pour l'orientation Sud, elle est négative à l'Est et positive à l'Ouest.

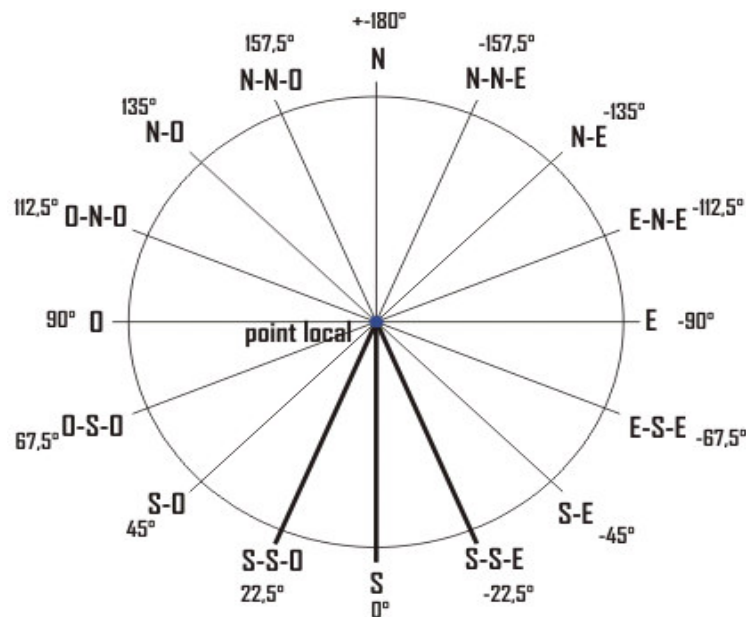


Figure 3.6 : Azimut de la paroi verticale suivant l'orientation (Bellara S, 2005).

### 3.5.3. Morphologie de l'habitat

Du point de vue de la consommation d'énergie, la forme optimale pour une construction est celle qui permet un minimum de gains solaires en été et un maximum gain solaire en hiver. A ce titre, il faut souligner les performances thermiques indéniables que

représentent la construction de forme compacte (elle présente un volume donné, un ratio de surface à volume réduit) et donc un minimum d'échange thermique. Les déperditions thermiques du logement se font par le renouvellement d'air et par l'enveloppe. Une forme "compacte" est plus économe en énergie qu'une forme "éclatée", puisque les déperditions sont proportionnelles à la surface d'échange entre l'intérieur chauffé et l'extérieur froid.

Le "coefficient de forme" est le rapport entre la surface de l'enveloppe et le volume habitable (Chaouche M., 2006).

$$C_f = S_e/V(3.1)$$

Où

$S_e$  Surface de l'enveloppe ( $m^2$ )

$V$  Volume habitable ( $m^3$ )

$C_f$  Coefficient de forme ( $m^{-1}$ )

### 3.6. Les solutions bioclimatiques

#### 3.6.1. Cheminée solaire

La cheminée solaire a une structure et un mécanisme de fonctionnement semblable au mur trombe. La différence distincte entre les deux, est que le mur trombe absorbe l'énergie solaire, et le recyclage d'air chaud résulte le chauffage passif du bâtiment. La cheminée solaire fournit au bâtiment la ventilation pendant le jour sans recyclage d'air dans la pièce. Une cheminée solaire peut être un des composants d'un bâtiment, dans lequel un ou plus de murs d'une cheminée sont transparents, le mur vitré permet le rayonnement solaire s'accumuler assez de chaleur pour induire l'effet de cheminée. L'énergie solaire réchauffe l'air à l'intérieur de la cheminée. En raison de la différence de la température d'air, un gradient de densité entre l'intérieur et l'extérieur de la cheminée provoque un mouvement ascendant d'air.

##### 3.6.1.1. Effet de cheminée

L'effet de cheminée est la tendance d'un fluide qu'en s'échauffant s'élève, en raison de la diminution de sa densité, résultant des différences de la température et d'humidité. On utilise ce phénomène thermique naturel pour évacuer la surchauffe de l'intérieur d'une construction en facilitant la sortie de l'air tiède ou chaud à travers des ouvrants en partie haute.

Ce tirage thermique peut induire une dépression intérieure susceptible d'aspirer l'air plus frais du dehors à travers des ouvrants en partie basse.

### **3.6.1.2. Principe d'écoulement**

L'écoulement est provoqué par la différence de masse volumique entre l'air intérieur (chaud) et l'air extérieur (froid). L'air chaud possède une masse volumique plus faible que l'air froid et tend à monter. L'air froid est plus lourd et tend à rester au sol. L'air chaud et humide s'élève vers les cheminées et est remplacé par de l'air froid et sec. Les grandes surfaces des entrées de l'air assurent de faibles vitesses qui ne causent pas de stress aux occupants.

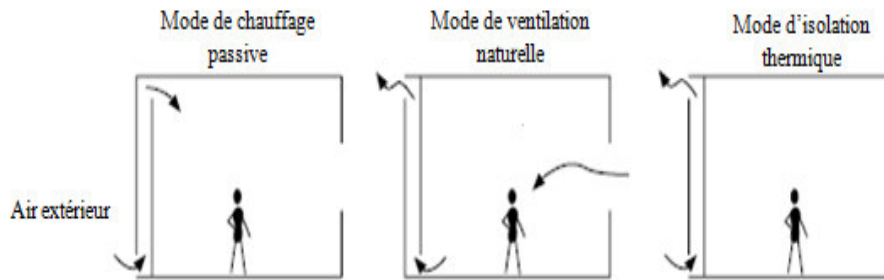
### **3.6.1.3. Modes d'opérations d'une cheminée solaire**

Trois modes d'opérations de la cheminée solaire, qui sont appropriés à chaque saison (Miyazaki T, 2006) sont illustrés dans la figure (3.7)

- Cas de chauffage : la cheminée solaire fonctionne en mode de chauffage passif. L'air extérieur est entré dans la cheminée, et réchauffé par l'énergie solaire absorbée. L'entrée d'air chaud dans la salle contribue à la réduction d'une charge thermique.

- Cas de refroidissement avec la température d'extérieure est inférieure à la température d'air dans la pièce : la cheminée solaire peut fonctionner dans le mode de ventilation et le refroidissement passif. La fonction est identique à celle pour le refroidissement dans des régions froides ou de climats modérés, où les conditions extérieures en été ne sont pas dures.

- Cas de refroidissement est et la température d'extérieure est supérieur à la température d'intérieure : la cheminée solaire n'est pas employée pour augmenter la ventilation parce que l'introduction d'air extérieure sans pré réfrigéré résulte une augmentation de la température à l'intérieur. Par conséquent, l'air entre dans la cheminée est s'échapper vers l'extérieur par l'ouverture supérieur. Ce mode d'opération s'appelle l'isolation thermique, a un effet de la diminution d'un gain de la chaleur dans la salle par la cheminée solaire.



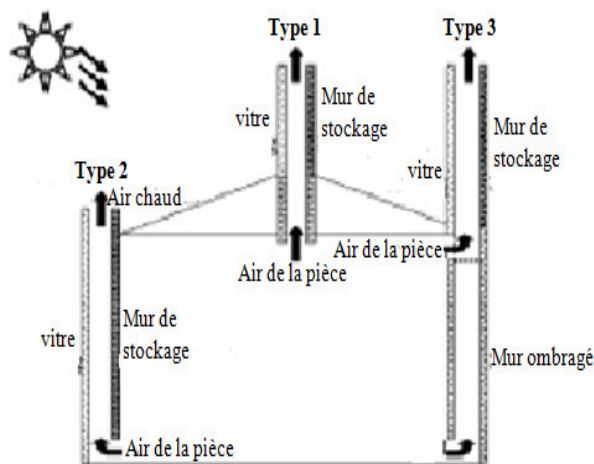
**Figure 3.7:** Les trois modes de fonctionnement d'une cheminée solaire (Miyazaki T,2006).

### 3.6.1.4. Types de cheminée solaire :

Actuellement, on peut distinguer deux types de cheminée

#### a. Cheminée solaire verticale

Ce type est le plus rencontré, où l'entrée d'air se fait par l'ouverture au fond et la sortie par l'ouverture au dessus. Par convention, trois types de cheminée sont dénotés selon l'admission (figure 3.8). Le positionnement de l'ouverture d'admission représente trois manières possibles, d'intégrer La cheminée solaire dans un bâtiment pour la ventilation naturelle.



**Figure 3.8 :** Types de cheminée solaire selon l'ouverture d'entrée, et leur position pour la ventilation naturelle (Guohui G, 2006).

La cheminée verticale a l'avantage, d'être intégrés facilement avec des façades dans un bâtiment, même des fenêtres d'une petite taille, orienté vers le sud peuvent également être

employées comme des cheminées solaires. Mais la plus grande limitation de cette disposition est celle de la saison d'hiver, quand le soleil s'attaque vers le sud à la latitude relativement inférieure, pendant la saison d'été, le taux de ventilation réduit en raison d'une altitude du soleil plus élevée. La cheminée verticale d'une forme cylindrique, ce type de cheminées solaires a un inconvénient qui réside dans la difficulté de construction. Par conséquent, un arrangement plus simple est d'utiliser une cheminée métallique noircie (semblable aux cheminées industrielles) (Mathur J, 2006).

Bassiouny R. et al(2008) présentent une étude numérique et analytique sur la conception d'une cheminée solaire pour améliorer la ventilation naturelle. Cette étude a examiné certains paramètres géométriques tels que la taille et la largeur d'entrée pour avoir un effet significatif sur la ventilation de l'espace. L'analyse numérique a un but de prédire la configuration d'écoulement dans la chambre et dans la cheminée. Cela contribue à optimiser les paramètres de conception. Les résultats ont été comparés avec les données expérimentales et théoriques disponibles en littérature. Ainsi, cette étude a montré que la largeur de cheminée possède un effet très significatif sur la vitesse d'écoulement et donc l'ACH. Les résultats ont montré qu'il existe une taille optimale d'entrée au-delà de laquelle l'ACH de la chambre diminue. L'augmentation de la largeur de cheminée peut améliorer l'ACH jusqu'à 25%.

Lee K.H. et al (2009) ont étudié l'effet de largeur de lame d'air et des coefficients de transmission et d'absorption du vitrage sur l'amélioration de la ventilation naturelle. L'étude a décrit les concepts de base, les hypothèses et les algorithmes mis en œuvre dans le programme Energy Plus pour prédire la performance d'une cheminée thermique. L'impact de l'énergie potentielle d'une cheminée solaire sous trois différentes conditions climatiques sont aussi étudiées. Les résultats montrent que les cheminées thermiques peuvent réduire considérablement la consommation énergétique de climatisation dans les bâtiments. Les conditions climatiques de sites a un impact significatif sur la performance globale de la cheminée, ce qui indique que les conditions météorologiques devraient également être prise en compte.

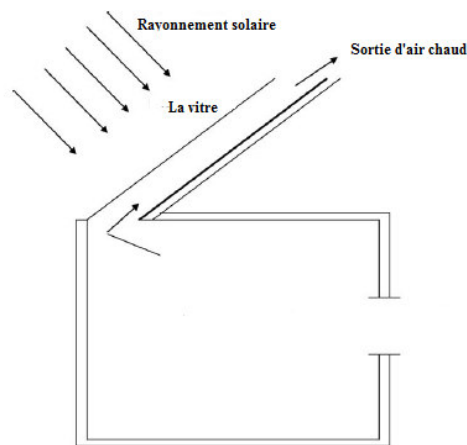
Kaye N.B et al. (2009) présentent une simulation numérique pour modéliser le développement transitoire d'écoulement dans un espace naturellement ventilé contenant une source de chaleur situé au centre. Les résultats obtenus ont été comparés avec les données expérimentales et théoriques disponibles en littérature. Le but de ce travail était de vérifier l'adaptation des simulations de CFD pour simuler le développement d'écoulement transitoire dans les

bâtiments naturellement ventilées. Les résultats des simulations correspondent bien avec les résultats expérimentaux. Les résultats de CFD prévoient exactement la profondeur maximale de la couche dynamique chaude dans la partie supérieure de la pièce ainsi la hauteur de l'interface à l'état d'équilibre.

Zoltan A. et al (2002) présentent une simulation mathématique détail été et une étude expérimentale sur le flux d'air dans une cheminée solaire. Le modèle de cheminée solaire est considéré comme un canal simple vitré d'un côté et un mur collecteur d'un autre côté, et d'une épaisseur et un angle d'inclinaison variables. Pendant les expériences, la vitesse de l'air dans la cheminée dépend de la distance entre le plan chauffé et le vitrage. Les résultats de ces expériences et de simulation sont présentés dans une série de graphiques. Le modèle de simulation a donné les débits pour une large gamme des variables. Ils sont conclus qu'il y a certaines différences, qui peuvent être éliminées à l'aide des équations plus précises pour calculer l'épaisseur de la couche limite et le coefficient de transfert de la chaleur. Le débit maximal est atteint pour une inclinaison de 45 degrés.

#### b. Cheminée solaire inclinée

Conceptuellement, les cheminées solaires inclinées sont semblables aux cheminées solaires verticales. La seule différence est qu'elles sont intégrées d'une façon inclinée à un certain angle approprié, pour capturer le maximum de rayonnement solaire possible.



**Figure 3.9:** Installation d'une cheminée solaire inclinée (Mathur J, 2006).



Le plus grand avantage des configurations inclinées qu'il fournit la ventilation suffisante à l'inclinaison de 30° à 45° pendant les mois d'été dans l'endroit géographique comme l'Inde, quand les cheminées verticales sont moins efficaces en capturant la quantité maximum de rayonnement solaire due à une altitude plus élevée du soleil (Mathur J, 2006).

Chen Z. (2003) présente une étude expérimentale de la cheminée solaire avec flux de chaleur uniforme. Le rapport entre l'épaisseur de lame d'air et la hauteur varie entre 1/15 et 2/5. Les résultats montrent que pour une cheminée solaire de hauteur de 1/5 et de lame d'air de 200 millimètres et d'angle d'inclinaison de 45° le débit massique d'air atteint une valeur maximale. À cette inclinaison, le débit d'air est environ de 45% meilleur par rapport à 90° d'inclinaisons. Les distributions de température et de vitesse s'avèrent absolument uniformes sur toute la largeur de la cheminée. Cependant, les distributions de température et la vitesse à l'intérieur d'une cheminée, sont non uniformes à travers l'espace entre l'absorbeur et le vitrage.

Harris D.J. et al (2007) se sont intéressés à l'utilisation de la cheminée solaire pour induire la ventilation dans un bâtiment. Le but de ce travail est d'utiliser un modèle de CFD pour étudier l'effet de l'angle d'inclinaison et de double vitrage sur les performances d'une cheminée solaire. Ils ont constaté que l'inclinaison influe considérablement sur les performances d'une cheminée solaire. L'inclinaison 67.5° s'avère un optimum pour obtenir le débit d'air maximal, ce qui donne un rendement de 11% plus grands que la cheminée verticale. Cela donne une meilleure performance de refroidissement et de ventilation dans le bâtiment, et réduit le risque de surchauffe. L'application de faible émissivité au mur permet d'améliorer le rendement de la cheminée jusqu'à 10 %. L'addition de double vitrage a donné une légère amélioration dans la performance, mais il n'a pas été suffisamment important.

Lee D. et al (2015) proposent une approche pratique pour la collecte de l'énergie solaire thermique à partir de la notion de cheminées solaires et pour la production d'électricité via des cycles organiques de Rankine (ORCs). Ils ont étudiés l'influence de plusieurs paramètres critiques sur la performance thermique et la température de sortie des cheminées solaires. Les paramètres mesurés à partir de l'expérience ont été considérablement réduits à l'aide de méthode de Taguchi. En outre, les configurations optimales de la cheminée solaire ont été identifiées, qui sont un verre avec haute transmission, des tubes rectangulaires, une absorbeur, un angle d'inclinaison de 45°, une surface de poli noir, et une longueur de 4 m. Les

résultats expérimentaux ont montré que la température de l'air à la sortie est plus élevée, il atteint 125°C, et le rendement de la cheminée solaire a été d'environ 65%.

L'étude de JianliuX. et al (2013) ont étudiés la performance de cheminée solaire, qui est intégré dans un bâtiment d'un seul étage. Un module a été développé dans le programme « Energy Plus » pour faire la simulation et déterminer l'impact énergétique de la cheminée thermique. Les notions de base, les hypothèses et les algorithmes sont effectués dans le programme « Energy Plus » pour prévoir la performance d'une cheminée solaire. A Nanjing (china), l'inclinaison 45° s'avère un optimum pour obtenir le taux maximal de ventilation. A cette inclinaison, le taux de ventilation est environ 8% meilleur par rapport à 60° et 30° d'inclinaisons. Le taux de ventilation augmente en parallèle du rapport entre la hauteur de l'absorbeur et l'écart entre le verre et l'absorbeur.

Amr Sayed H. A. et al (2014) ont proposés un système de ventilation naturelle combinaison d'une cheminée solaire et tour de refroidissement par évaporation dans une modèle thermique d'un bâtiment sous le climat d'Assiout (Egypt). Ce système de développement est utilisé dans une pièce d'une seule zone pour étudier les performances et les avantages d'un système intégré dans le modèle numérique. Une simulation a été effectuée sous le logiciel COMICS-TRNSYS pour évaluer la ventilation naturelle et le confort thermique intérieur. Les résultats de l'étude montrent que le coefficient de pression et le rayonnement solaire sont les principaux paramètres qui influent sur le débit de l'air à l'intérieur de la zone d'occupation. Lorsque la température de l'absorbeur augmente avec les effets de coefficient de pression, les ACH augmente l'augmentation du rayonnement solaire. La température intérieure diminue de 10 ° C à 11,5 ° C par rapport à la température extérieure. Cela permet d'atteindre le confort pendant les jours les plus chauds de la saison estivale, avec 95% de la température obtenue au niveau de la zone d'occupation sont adaptables à l'intervalle du confort thermique. Pendant la période du 21 mai au 21 Août. Le système proposé peut être appliquée pendant la journée et la nuit, mais il peut être contrôlé et son utilisation peut être limitée pendant la nuit surtout quand la température à l'intérieur de la cheminée est inférieur de 30.5°C.

Dans le quatrième chapitre, on va étudier le comportement d'écoulement d'air dans une cheminée solaire. Nous mesurons les paramètres physiques à l'entrée et à la sortie de la cheminée. Avec les données expérimentales, nous avons réalisé une simulation numérique bidimensionnelle; le calcul numérique est mené à l'aide du code de calcul Fluent version 6.3.26.

### 3.6.2. Echangeur air-sol

L'échangeur air-sol est un système géothermique consiste à rafraîchir l'air ventilé dans un bâtiment. Il suffit d'enterrer un ou plusieurs tuyaux sur un trajet suffisamment long et de faire circuler l'air. L'air extérieur transite dans ce réseau de gaines par convection forcée, se réchauffe en hiver ou se refroidit en été, avant d'être soufflé dans le bâtiment. Le principe de l'échangeur air-sol est de faire circuler l'air neuf dans un conduit enterré grâce à un ventilateur, avant de l'insuffler dans le bâtiment. En hiver, l'air se réchauffe au cours de son parcours souterrain, les besoins de chauffage liés au renouvellement d'air des locaux sont alors réduits et le maintien hors gel du bâtiment peut être assuré, le puits est alors dit puits canadien. En été, l'air extérieur profite de la fraîcheur du sol pour se refroidir et arriver dans le bâtiment durant la journée à une température inférieure à celle d'extérieure, le puits est alors dit puits provençal (RomualdJ, 2009).

Benhammou M. et al (2015) Benhammou M. et al (2015) présentent une nouvelle conception du système de refroidissement passif qui consiste dans un échangeur air-sol assisté par une tour de vent. Ce système est destiné à la climatisation en été dans les régions chaudes et arides de l'Algérie. Un modèle analytique a été développé pour étudier l'influence des paramètres de conception sur les performances de l'échangeur ai-sol (EAHE). Le modèle de l'EAHE a été validé après par des résultats expérimentaux et théoriques de la littérature. Les performances des systèmes de EAHE sont plus influencées par la vitesse d'écoulement de l'air, un autre modèle a été présenté à prévoir la vitesse de l'air à l'intérieur de la canalisation enterrée. Une profondeur d'enfouissement de 2 m a été adoptée au mois de Juillet où la température ambiante dépasse 45 °C. Cette étude a été également étendue pour examiner le comportement du système pendant toute l'année. Une analyse de sensibilité a été réalisée pour étudier l'influence de la tour, de tuyaux dimensions sur la vitesse d'écoulement de l'air et les performances de l'EAHE. Les résultats ont montré que les dimensions de tour de vent (hauteur, coupe transversale) n'ont pas un impact important par rapport aux dimensions de tubes (longueur, diamètre). La hauteur de tour de vent est 5,1m. Avec un tube de 0,57m<sup>2</sup> de section, la mesure de vitesse sur le terrain a indiqué que le débit d'air était environ 592,61m<sup>3</sup>/h. Il a été également observé que le potentiel de refroidissement journalière atteint à un maximum de 30,7 kWh correspondant à une longueur de tube de 70 m. L'efficacité de refroidissement du système est comparée à celle du système passif de refroidissement traditionnelle en consistant une tour de vent avec des surfaces humides. Les résultats

indiquent que le rendement moyen ainsi que le gradient de température augmente en parallèle avec la longueur de la conduite, mais, ils se diminuent lorsque le diamètre de tube s'augmente. La vitesse de l'air à l'intérieur des tubes enterrés s'augmente avec le diamètre mais il se diminue avec la longueur du tube.

Vaz J. et al (2011) présentent une étude expérimentale et numérique de l'échangeur air-sol, qui est utilisés pour réduire la consommation d'énergie pour le chauffage et la climatisation du bâtiment à travers l'utilisation de l'énergie géothermique du sol. Cette expérience a été effectuée au sud du Brésil (Viamão), de plus, ses résultats ont été utilisés pour valider la modélisation numérique de l'échangeur air-sol. Ils ont étudié la variation de température de l'air à l'intérieur des tubes au tour l'année. La résolution du problème numérique des équations de conservation est effectuée avec un code commercial (FLUENT) qui est basé sur la méthode des volumes finis. Les résultats de simulation sont en bon accord avec ceux expérimentaux, pour les champs de température, on constate que la moyenne d'obtenir un erreur aux résultats et les valeurs expérimentales est 15%.

a présenté une étude analytique approximative de la diffusion de la d'un échangeur air-sol (EAHE) cylindrique avec des conditions aux limites adiabatiques. Le flux d'air et la température à l'entrée ont supposés constants. Les résultats ont été comparés avec les données disponibles expérimentales et théoriques en littérature. L'amortissement hivernal de l'oscillation annuelle à des températures situées en dessous du seuil de confort inférieur de 20°C.

Mihalakakos et al(1995), Lee et al(2008) ont développé une méthode de conception en introduisant la longueur, le diamètre de tube et le nombre de tubes en parallèle pour déterminer les caractéristiques de dimension de l'échangeur air-sol. Des essais ont été effectués pendant toute l'année. Les résultats montraient que l'efficacité thermique de l'échangeur air-sol augmente avec sa longueur et son diamètre. Ils ont aussi montré que les performances du système de récupération dépendent aussi à la profondeur d'enterrement de l'échangeur.

MisraR. et al (2013) proposent un modèle CFD pour évaluer la performance énergétique d'un échangeur air-sol dans le climat chaude et sec d'Ajmer (Inde). L'effet de la durée de fonctionnement et la conductivité thermique des sols sur le rendement thermique d'EAHE a été étudiée. Sous les conditions de l'état d'équilibre, une augmentation de 19,6 °C est obtenue dans l'air passant à travers EAHE ayant 0,1 m de diamètre, 60 m de longueur et 5 m / s de

vitesse. Les résultats montrent que pour les sols ayant une conductivité thermique de 0,52 W/m K, la température de l'air réduit de 19,4 °C à 17,2°C, après 24 h de fonctionnement du système, on aura une diminution de température de l'air de 19,6°C à 19,2°C et 19,6°C à 19,5°C pour une conductivité thermique du sol 2,0 W/m.K et 4,0 W/m K, respectivement.

Le travail de Xamán J. et al (2014) porte sur l'étude de la performance thermique d'un échangeur air-sol dans les conditions climatiques des trois villes au Mexique. Ces conditions climatiques correspondent à un climat tempéré (Mexico), un climat humide-chaud (Mérida, Yucatán) et des phénomènes climatiques extrêmes (Cd. Juárez, Chihuahua). L'effet de l'isolation thermique à la section de sortie de l'EAHE a été étudié. Dans la ville de Mexico, l'isolation d'une épaisseur de 0,05 m (2) est recommandée car elle améliore la performance de l'EAHE. En hiver, l'isolation a augmenté l'effet de chauffage jusqu'à 2°C par rapport à l'EAHE sans isolation. En été, l'isolation thermique fourni une amélioration sur l'effet de refroidissement jusqu'à 1,3°C. A Mérida les résultats montrent que l'isolation thermique d'une épaisseur de 0,05 m est la plus efficace pour réduire la température. En hiver, cette épaisseur a augmenté la température de l'air jusqu'à 2,6 ° C par rapport à l'EAHE sans isolation. Pour le Cd. Juárez, pendant l'été le comportement thermique de l'EAHE n'a pas été amélioré avec l'utilisation de l'isolation thermique.

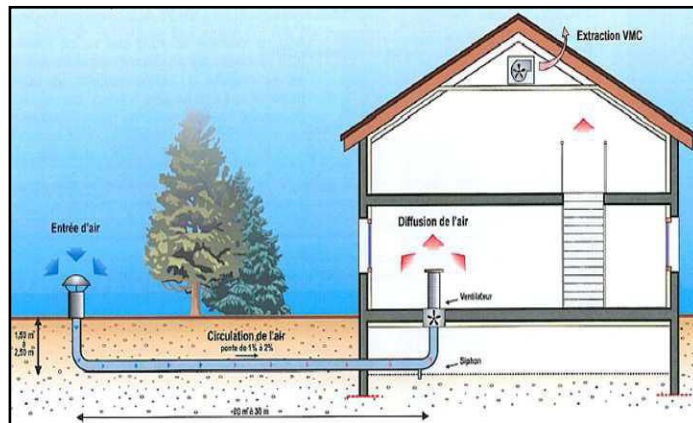
SanjeevJakhar et al (2015) ont étudié expérimentalement la performance thermique de l'échangeur air –sol (EATHE) couplé avec un conduit de chauffage solaire de l'air pour le climat aride du nord-ouest de la ville d'Ajmer (Inde) pendant la saison d'hiver. Les résultats montrent que la capacité de chauffage du système EATHE augment de 1217.625 à 1280.753 kWh avec une augmentation au niveau de la température ambiante de 1,1 à 3,5 °C quand il a été couplé avec un conduit de chauffage solaire de l'air. Le COP du système a également augmenté jusqu'à 4,57. Ils ont conclu que pour optimiser le cout du system on réduisant la longueur du tunnel jusqu'à 34 m.

On présente dans le quatrième chapitre les études qui sont réalisés sur l'échangeur air sol.

#### **3.6.2.1. Principe de fonctionnement de l'échangeur air-sol**

L'échangeur air-sol qui s'appelle aussi puits canadien/provençal est un système dit : géothermique, qui utilise l'énergie présente dans le sol à proximité de sa surface pour chauffer ou refroidir l'air neuf de ventilation des bâtiments.

En fonction des conditions atmosphériques, du jour et de la saison, l'air extérieur subit de fortes variations de température. À l'opposé, le sol, à quelques mètres sous sa surface, présente une température peu variable en raison de sa grande inertie thermique. L'échangeur air-sol tire partie de cette grande inertie en mettant en contact thermique l'air extérieur avec le sol grâce à des tubes enterrés à quelques mètres de profondeur sous le sol, à proximité ou directement sous le bâtiment à ventiler. L'air provenant de l'extérieur, mu par un ventilateur, parcourt les tubes avant d'être insufflé dans le bâtiment (Thiers S, 2008).



**Figure 3.10 :** Schéma de principe d'un échangeur air-sol.

Un système puits canadien utilise un peu d'électricité, c'est seulement pour alimenter le ventilateur.

### 3.6.2.2. Les Modes de fonctionnement d'un échangeur air-sol

Trois modes de fonctionnement de l'échangeur air-sol, qui sont appropriés à chaque saison :

- **Fonctionnement en hiver**

En hiver, la température extérieure est inférieure à la température de sol, l'air est réchauffé en traversant l'échangeur géothermique. Grâce à la chaleur du sous-sol cet air chaud permet de réaliser des économies d'énergie.

- **Fonctionnement en été**

En été, la température du sous-sol est basse. L'air extérieur est rafraîchi en traversant l'échangeur géothermique puis diffusé dans l'habitation, entraînant une réduction de la température ambiante pour un meilleur confort.

- **Fonctionnement au printemps / automne**

Pendant les intersaisons, la température extérieure subit des variations importantes (journées ensoleillées – nuits froides), mais la température du sous-sol reste stable (fraîche au printemps – encore chaude en automne). Par une chaude journée de printemps, il n'est pas souhaitable d'amener de l'air neuf par l'intermédiaire de l'échangeur géothermique, cet air serait plus frais que l'air extérieur. Par contre, le préchauffage de l'air par l'échangeur géothermique pendant les nuits fraîches du printemps est souhaitable. L'exemple inverse (journées fraîches, nuits chaudes) est valable pour les journées d'automne.

#### 3.6.2.3. Caractéristiques des principaux composants d'un échangeur air-sol

L'échangeur air-sol se compose en quatre principaux éléments à savoir :

- L'entrée d'air neuf ;
- L'échangeur géothermique ;
- Le système d'évacuation des condensats ;
- Le ventilateur et le système de régulation du puits.

##### a. Prise d'air neuf

Tous les échangeurs air-sol possèdent une prise d'air neuf. Elle peut être en colonne extérieure circulaire ou cubique et placée en façade de bâtiment ou à distance lorsque le terrain le permet. Ses dimensions sont généralement les mêmes que celles des conduits auxquels elle est reliée de manière à ne pas occasionner de variations de vitesse et de pertes de charge. Elle peut être omnidirectionnelle ou unidirectionnelle en fonction des éventuelles sources de pollution environnantes. Elle est souvent pourvue d'un chapeau et d'ailettes empêchant l'eau de pluie de pénétrer dans l'échangeur air -sol. La prise d'air est généralement placée légèrement en hauteur de manière à ne pas capter trop de poussières. Elle est fixée dans le sol par socle béton.



**Figure 3.11** : Différentes modèles des Prises d'air.

La matière de la prise d'air peut être : l'acier inoxydable, l'acier galvanisé, le béton, le polyéthylène.

### b. Échangeur géothermique

Il est constitué d'un ou plusieurs tubes assurant un triple rôle : canaliser le flux d'air, permettre les échanges thermiques entre l'air et le sol et assurer la tenue mécanique de l'ouvrage. Leurs principales caractéristiques sont leurs dimensions (diamètre, longueur) et leur matériau.

Plusieurs méthodes sont alors utilisées pour assurer les raccords : vissage, emboîtement, collage avec parfois des joints en caoutchouc.

L'échangeur est généralement enterré entre 4 et 6 m pour le tertiaire et entre 1 et 2 m pour le résidentiel individuel. Il est assez éloigné de la dalle des bâtiments pour éviter toute fuite de chaleur de celle-ci vers l'échangeur air-sol. Une pente régulière de 2 à 3% est mise en place afin d'évacuer les éventuels condensats (Tome L, 2009).



**Figure 3.12 :** Echangeur géothermique.

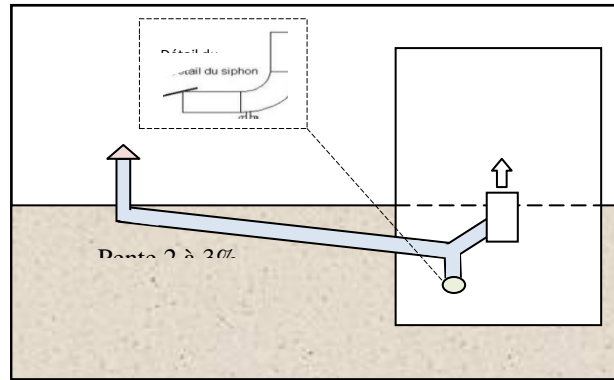
### c. Système d'évacuation des condensats

Le fait que de l'air chaud et humide provenant de l'extérieur se refroidisse au contact des parois froides de l'échangeur air-sol peut engendrer un phénomène de condensation dans les conduits. Dans ce cas, un système doit permettre d'extraire ces condensats.

Pour ce faire, il existe trois possibilités :

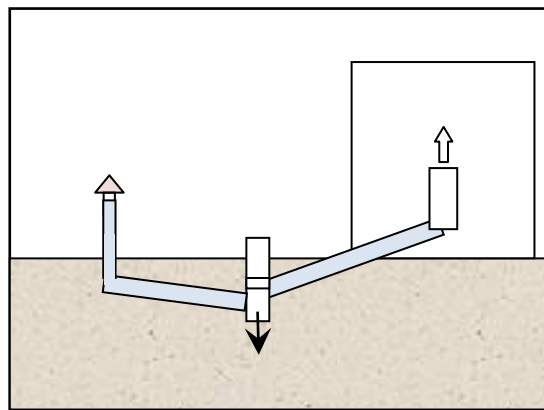
- Dans le cas où le bâtiment possède un sous-sol, alors le point bas de l'échangeur thermique peut être situé à ce niveau. Les condensats sont alors récupérés grâce à la pente des conduits de 2 à 3% et à un siphon. Le siphon est dans raccordée au réseau d'écoulement des eaux usées ou des eaux pluviales lorsque celui dernier existe.





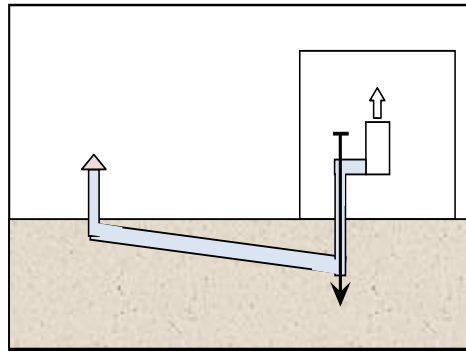
**Figure 3.13** : Système d'évacuation des condensats à siphon.

- Si le sol est perméable et que la topographie le permet, un puits d'infiltration peut être placé au niveau du point bas de l'installation (vers le bâtiment ou vers la prise d'air). Il faut au préalable s'assurer de l'absence de nappe, source ou écoulements souterrains.



**Figure 3.14** : Système d'évacuation à puits d'infiltration.

- Si la nature du sol ne permet pas l'infiltration ou si il y a un risque de remontée d'eau (nappe libre superficielle par exemple) dans le puits, alors l'installation d'une fosse en point bas de l'installation équipée d'une pompe peut être envisagée. La pompe est dans ce cas raccordée au réseau d'écoulement des eaux usées ou des eaux pluviales lorsqu'ils existent. Dans le cas contraire, il faut prévoir une zone d'épandage.



**Figure 3.15 :**Evacuation par infiltration dans le sol.

### d. Ventilateur

Pour garantir l'apport en air neuf du bâtiment, le système de l'échangeur air-sol nécessite un couplage avec une ventilation mécanique capable de vaincre les pertes de charge engendrées par le passage dans l'échangeur. Le ventilateur doit être dimensionné de manière à assurer les débits réglementaires.

Le ventilateur peut être équipé d'un régulateur. Un thermostat placé à l'extérieur va favoriser le passage de l'air par l'échangeur air-sol ou par le by-pass en fonction de la température extérieure (gains en température faible en mi-saison par exemple donc passage par le by-pass).

Deux configurations sont ici aussi envisageables : le ventilateur placé en entrée ou en sortie de puits. Dans le premier cas, le conduit est en surpression et le bruit du ventilateur plus éloigné des occupants. Cette configuration semble plus intéressante d'un point de vue sanitaire (atténuation du bruit et lutte contre l'intrusion de pollution provenant du sol) même s'elle est rarement mise en œuvre dans ce but. Elle est peu utilisée car elle nécessite généralement l'emploi de deux ventilateurs.

Dans le second cas, le conduit est en dépression et le ventilateur peut être le même que celui de la VMC (ventilateur mécanique contrôlée) double flux. C'est cette configuration qui est la plus utilisée car elle ne nécessite l'emploi que d'un ventilateur (Tome L, 2009).

### e. Ventilations mécaniques couplées avec échangeur air-sol

Le dimensionnement d'un échangeur air-sol ne peut se faire sans une approche globale à la ventilation de la maison. Le but de la ventilation au sein d'un bâtiment est d'évacuer l'air vicié en le renouvelant par de l'air neuf. Contrairement à la ventilation naturelle, la VMC (Ventilation Mécanique Contrôlée) est un dispositif motorisé d'évacuation ou d'insufflation d'air frais.

Il existe deux principaux types de ventilation mécanique couplée avec échangeur air-sol.

#### f. Ventilation mécanique contrôlée simple flux

Il s'agit du système le plus simple, en général utilisé dans l'habitat individuel. Les entrées d'air sont placées dans les pièces à vivre (salon, chambres...) tandis que les bouches d'extraction se trouvent au niveau des pièces humides. Seule l'extraction de l'air est motorisée. L'air est ainsi aspiré depuis les pièces sèches vers les pièces humides avant d'être extrait. Il faut prendre garde à ce que l'air puisse circuler même à portes fermées.

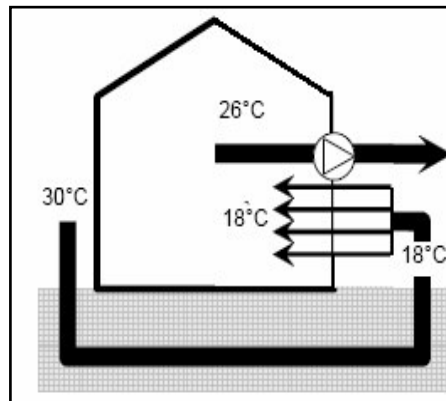


Figure 3.16 : Echangeur air-sol avec une VMC simple flux (KartachiY., 2006).

#### g. Ventilation mécanique contrôlée double flux

La ventilation mécanique contrôlée double flux combine les systèmes d'insufflation et d'extraction mécaniques. Elle est composée de deux ventilateurs indépendants avec deux réseaux de conduits séparés, l'un pour insuffler de l'air neuf dans les pièces principales et l'autre pour extraire l'air vicié dans les pièces de service (Juslin K, 2006).

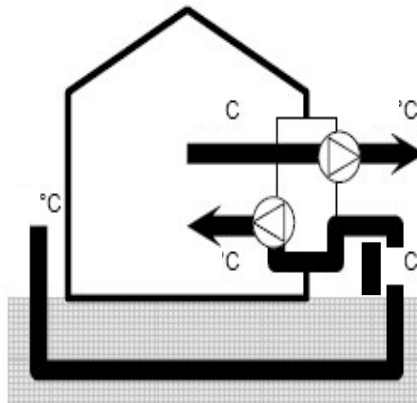


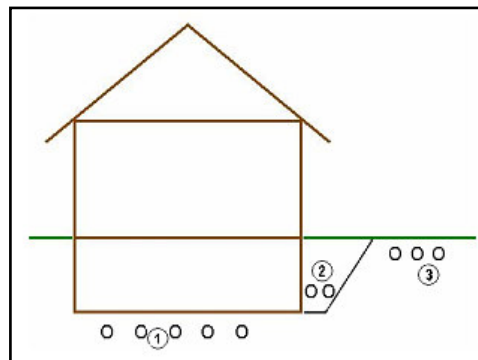
Figure 3.17: Représentation de la VMC double flux (KartachiY., 2006).

Schéma de principe de l'échangeur air-sol combiné avec une ventilation mécanique contrôlée à récupération de chaleur double flux.

Ce dispositif permet une meilleure maîtrise des débits d'air neuf insufflés dans les pièces principales, ainsi que des risques de courants d'air froid par la possibilité de préchauffage de l'air neuf. La VMC double flux peut en effet intégrer un récupérateur de chaleur sur l'air extrait en vue du préchauffage de l'air neuf insufflé. Son utilisation est par conséquent répandue dans les pays froids. Il présente également l'avantage de permettre le filtrage de l'air neuf avant sa distribution dans les pièces.

### 3.6.2.4. Emplacement d'un échangeur air sol

Trois manières d'installation de l'échangeur air-sol sont possibles :



**Figure 3.18** :Emplacement du puits

1. Sous le bâtiment
2. Dans les fouilles du bâtiment
3. Dans le terrain

Techniquement, ces variantes sont équivalentes, la différence se situe au niveau des coûts de terrassement, la deuxième variante étant la plus intéressante financièrement, aucun terrassement supplémentaire n'étant à réaliser. Lors de la mise en place des tuyaux, il faut éviter au maximum les coudes et angles créant des pertes de charge. De plus un écart entre les tuyaux parallèles d'au moins 0,8m doit être conservé(MedjelekhD, 2006).

### 3.6.2.5. Les avantages d'un échangeur air sol

Les avantages de l'échangeur air-sol sont les suivants

- Ressource énergétique renouvelable préservant l'environnement

- (Pas de déchet, émissions gazeuses très réduites) ;
- Consommation énergétique très faible ;
- Coût du matériel faible ;
- La maintenance restreinte ;
- Pas de rejets de CO<sub>2</sub>, pas de liquides frigorigènes, pas de phénomène allergogène ou virales.

### 3.6.2.6. Les inconvénients d'un échangeur air sol

Les inconvénients de l'échangeur air-sol sont les suivants

- Inutile à la mi-saison ;
- Technique de pose relativement délicate ;
- Coût de terrassement important ;
- Consommation supplémentaire : il est à souligner qu'en parallèle des possibilités d'économie d'énergie, la consommation électrique des auxiliaires (ventilateur de circulation d'air, by-pass automatisé, pompe de relevage de l'eau condensée, etc.) peut s'avérer importante.
- Entretien du circuit – il faut prévoir un entretien régulier de la conduite pour garantir une qualité hygiénique de celui-ci. Des accès à la conduite sont à prévoir pour nettoyer le système et éviter la prolifération des bactéries consécutive à la condensation (estivale) ;
- Coût – pour éviter des coûts excessifs au déblai des terres, l'installation doit se faire pendant les travaux de terrassement.

### 3.6.3. Historique des murs végétalisés :

Le jardin est à l'interface entre paysage et environnement. Le paysage étant culturel, perçu du point de vue esthétique, il crée une rencontre, dans le jardin, avec l'environnement. Le jardin est traditionnellement horizontal et au sol. Il s'agit d'un concept fondamentalement culturel (Bernier A, 2011).

Depuis la plus haute Antiquité, les hommes ont fait pousser des plantes grimpantes sur les murs et les toitures de leurs maisons. Tout le monde a entendu parler des « Jardins suspendus de Babylone », Les personnes qui ont eu l'occasion de visiter la Scandinavie ont quelquefois pu voir des exemples beaucoup plus étonnants de maisons traditionnelles, avec des toitures à double pente vertes, c'est ce qu'il est convenu d'appeler le « chalet norvégien ».

De nos jours l'intégration de la végétation dans l'architecture contemporaine représente une occasion de conception pour les concepteurs et les architectes (Bouattour M, 2009).



**Figure 3.19 :** Jardins suspendus de Babylone Maarten van Heemskerck - XVIe siècle.

Les premiers murs végétaux furent créés il y a une vingtaine d'années, par Patrick Blanc, chercheur au CRNS. Il s'est inspiré de la façon dont les plantes colonisent des surfaces verticales lors de ses observations sur le terrain en forêt tropicale (Bouattou M, 2009).

Historiquement, la construction de toitures végétales se fait de manière traditionnelle dans plusieurs pays scandinaves et européens. Le principe utilisé depuis des millénaires dans la zone paléarctique, qui fait encore partie des traditions des Amérindiens d'Amérique du Nord, est le suivant :

Un épais mélange de terre et de végétaux herbacés enracinés permettait de réaliser des toitures relativement bien isolées, étanches à l'air et à l'eau, résistantes au vent et au feu, le tout se faisant avec des matériaux facilement disponibles localement. Ces lourdes toitures exigent de solides charpentes et une couche protectrice placée entre la partie végétalisée et la charpente afin que cette dernière ne pourrisse pas. Pour ce faire, on utilise traditionnellement par exemple des tuiles de bois peu putrescibles, ou plus souvent des plaques d'écorce déroulée de bouleau. La construction moderne utilise des bâches spéciales en matière plastique (avec feutre « anti-racine » le cas-échéant) ou des éléments étanches «thermo soudés » ou collés non métalliques. Des bénéfices intéressants peuvent aussi être attendus en zone tropicale.



**Figure 3.20 :** Graminées sur habitat traditionnel - Musée des traditions d'Oslo – Norvège.

### 3.6.4. Formes de végétalisation des espaces au contact et sur les bâtiments

Autour des bâtiments, la végétation prend des formes diverses : isolée (arbres, arbustes), tapissant (gazon, herbes) comme elle peut constituer une seconde enveloppe du bâtiment (mur végétal, toit végétal). Dans toutes ces formes, la végétation protège le bâtiment en réduisant les transferts de chaleur par convection et les gains par rayonnement ce qui améliore le comportement énergétique grâce à l'évapotranspiration qui rafraîchit l'air ambiant extérieur et intérieur des bâtiments.

#### 3.6.4.1. Végétalisation des transitions rue- bâtiment

La végétalisation des rues est très important pour répondre aux nouvelles exigences en matière de développement durable en intégrant le concept énergétique. C'est-à-dire avec les jardins on peut concevoir des quartiers durables dans le respect total de l'environnement, de la qualité de vie, de l'équité sociale et en assurant aussi des gains énergétiques. L'exemple de «du quartier Vauban, Fribourg- en- Brisgau» (Figure. 3.21) est représentatif par la forte présence de végétation dans les aménagements extérieurs (plantations et revêtements perméables). Celle-ci a pour principal but, la création de microclimat aux abords des constructions : ombrage, rafraîchissement, protection contre le bruit, abri contre le vent (Abbaoui H, 2006).



**Figure 3.21 :** Transitions rue- bâtiment ; Quartier Vauban, Fribourg en Brigsau.

### 3.6.4.2. Végétalisation des cours et patios

La conception des patios jardins dans les maisons traditionnelles en pays islamiques n'a pas qu'un but ornemental ou religieux, elle obéit à un but de contrôle du microclimat autour et dans le bâtiment. Dans ce sens, une étude a démontré qu'il y a une différence de température de 4°C à 7°C entre la cour plantée et le toit de la maison grâce à l'effet de la végétation, qui permet aussi d'absorber la poussière et la saleté dans ces cours et patios et réduit les réverbérations (Attia S, 2006).

### 3.6.4.3. Verdissement des fenêtres

Dans le cas où l'habitation (appartement) ne possède pas un espace extérieur suffisant à planter (balcon, loggia, terrasse...), on peut recouvrir entièrement un bord de fenêtre étroit par des plantes pouvant constituer des écrans végétaux (Fig.3.22). En général, ce sont les espèces les plus résistantes qu'on met sur les fenêtres. Le verdissement des fenêtres permet de donner une note de verdure dans l'appartement et d'égayer aussi l'extérieur de la maison. (IBGE, 2007).



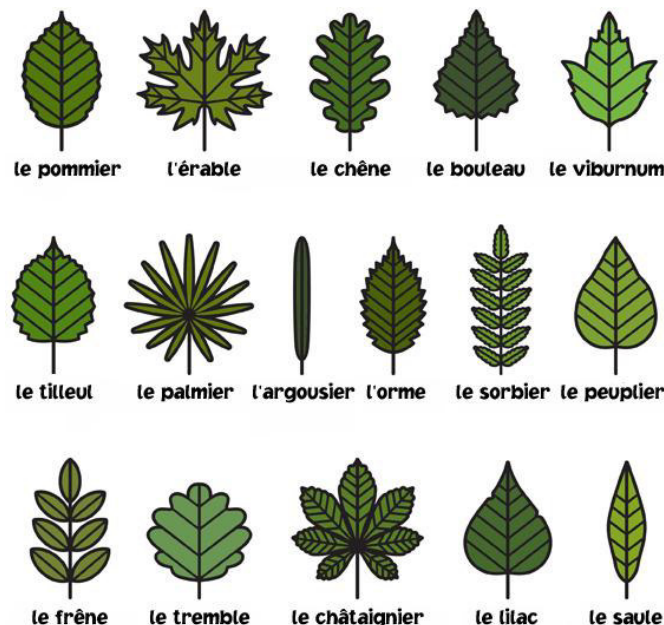
**Figure 3.22 :** Verdissement des bords de fenêtres par des Géranium et autres plantes  
(Benhlilou K, 2008).



### 3.6.5. Morphologie : types et formes de feuilles

Les feuilles d'une plante sont très importantes. Il y a beaucoup de différents types de feuilles. Certaines feuilles sont adaptées aux climats chauds et secs en étant capables de stocker de l'eau ou d'être plus petites. Certaines feuilles ont de très grandes lames pour recueillir le maximum de lumière dans un endroit ombragé. Les lames de certaines feuilles sont cassées en trois sections ou plus.

La principale structure collectrice de lumière sur une feuille est une grande surface plate et large appelée lame de feuille. La lame a de nombreuses couches qui aident non seulement la plante à se déplacer, mais aussi à l'aider à stocker les matériaux et les sous-produits de la photosynthèse. La lame est tenue loin de la tige et soutenue par le pétiole. Le pétiole n'est pas exactement comme une tige, mais il a le xylème et le phloème qui transportent l'eau et le sucre.



**Figure 3.23 :** Forme des feuilles.

Les feuilles jouent un rôle clé dans la fonction de la plante et dans l'adaptation à long terme à l'environnement. Bien que comprenant essentiellement de l'épiderme, des stomates et du mésophyle, les feuilles présentent des différences apparentes de surface, d'épaisseur et de forme entre les différentes espèces, en raison des relations phylogénétiques et de l'adaptation à des environnements spécifiques.

L'épaisseur des feuilles ( $t$ ) et la densité apparente sèche ( $D$ ) sont maintenant considérées comme les deux principaux composants de la structure des feuilles qui, multipliées, donnent la masse foliaire par unité de surface. Dans certains cas, les variations de

la masse spécifique de la feuille étaient dues à des changements dans la densité des feuilles en particulier ou en épaisseur ou les deux, tandis que dans d'autres, la densité et l'épaisseur varié sans effet net sur la masse spécifique de la feuille.

#### 3.6.6. Murs végétalisés :

Le mur végétal est une paroi qui s'élève parallèlement aux murs du bâtiment à protéger. Selon son orientation et sa composition, le mur vert servira à la fois d'écran contre les vents dominants, le bruit, l'ensoleillement mais également la pollution. Il peut jouer un rôle en matière de microclimat et de qualité de l'air.

La façade végétalisée constitue ainsi une approche complémentaire et innovante de penser l'espace vert en ville. Elle peut se faire soit à partir du sol directement, les racines des plantes grimpantes en puisant leur nourriture et l'eau à partir le sol, soit en intégrant les végétaux au Bâtiment dans les bacs, ou bien en utilisant des autres techniques comme le mur végétal monobloc (Kontoleon K, 2010).

En été, c'est plutôt l'échauffement des parois et de l'air qu'on doit réduire, les plantes grimpantes peuvent tapisser directement un mur (Figure 3.24) ou s'accrocher à un treillage. Elles jouent de ce fait, le rôle d'enveloppe thermique (vigne vierge) surtout par la mise à l'ombre des parois. Les plantes grimpantes permettent donc de protéger les supports qu'elles recouvrent des méfaits de la pluie et des alternances brutales de températures. Ce revêtement végétal constitue donc un isolant préventif des murs (Bernier A, 2011).



**Figure 3.24** : Façade végétalisée recouverte de plantes grimpantes. New York, 2009(Bernier A,2011).

### 3.6.6.1. Maintenance des murs végétalisés

Afin de préserver au maximum le potentiel de végétalisation des façades, le mur doit conserver ses irrégularités, sans altérer l'état général de la surface. Faire grimper du lierre sur un mur dont les joints sont abîmés (joints sableux) peut être dommageable pour la surface (Bouattour M, 2009).

Une attention particulière doit être apportée à l'entretien des façades et structures végétalisés. Si les plantes grimpantes ou la flore des terrasses extensives sont rustiques entendent nécessitent ni arrosage ni engrais, il faut cependant respecter les points suivants :

Les plantes grimpantes ne doivent pas atteindre les tuiles ou ardoises, ni les gouttières. Si leurs feuilles mortes bouchaient ou freinaient l'évacuation des eaux pluviales, celles-ci pourraient déborder et s'écouler le long des façades, au risque d'altérer les matériaux, de favoriser la pénétration de racines et l'implantation de fougères, graminées, voire de plantes buissonnantes ou d'arbres dans les ciments de mauvaise qualité ou composés de chaux hydraulique naturelle, ou de terre (Kingsbury N, 2008).

De la même façon, il faut tailler régulièrement les végétaux autour des ouvertures, prises d'air, cheminées, de manière à ce que la végétation ne guide pas des espèces indésirables ou invasives vers les espaces intérieurs (insectes comme les fourmis ou araignées...). Un filtre de type moustiquaire peut protéger les prises d'air. Généralement, ces façades végétalisés exigent (Kingsbury N, 2008):

- un entretien bisannuel pour les jeunes plantes.
- un entretien annuel pour les plantes bien développées.
- une vérification des supports et fixations tous les 5 ans. Dans le cas de fils et câbles, ils seront retendus tous les ans.

### 3.6.6.2. Les avantages des murs végétalisés

#### a. Confort thermique

En été, la végétalisation, par effet combiné du substrat et de la végétation, permet d'abaisser la température sous étanchéité de 35°C par rapport à une étanchéité nue et de réduire le flux thermique en toiture de 75%. Le confort d'été dans les derniers étages du bâtiment s'en trouve largement amélioré (jusqu'à -3°C), et les éventuelles consommations de climatisation réduites.

L'effet de la végétalisation sur les consommations de chauffage fait actuellement l'objet d'études (Le Lun C, 2006).

### **b. Confort acoustique**

Le substrat de culture permet d'atténuer les bruits d'impacts (isolement de 15 à 20dB) ; la végétation et le substrat permettent de réduire les bruits aériens (isolement de 5dB) (Le Lun C, 2006).

### **c. Rétention des eaux**

Une toiture végétalisée retient 40 à 90% des précipitations annuelles (40 à 60% dans le cas d'une végétalisation extensive, 60 à 90% dans le cas d'une végétalisation intensive). Dans le cas d'un réseau d'assainissement unitaire, le volume des eaux à traiter en stations d'épuration est réduit d'autant.

De plus, la végétation et son substrat ont un effet tampon en cas d'orage. Cet « effet retard » constitue une des solutions pour limiter le débit de rejet au réseau, et éviter l'engorgement des réseaux d'assainissement et des stations d'épuration lors de fortes précipitations (Le Lun C, 2006).

Diminution de l'effet 'Ilot de chaleur': 'Les villes vont devoir se préparer au changement climatique : une végétalisation abondante des tissus urbains permettra de réduire les effets dramatiques des vagues de chaleur sur la santé humaine' (Ottelé M, 2011).

#### **3.6.6.3. Les inconvénients des murs végétalisés**

Les murs végétalisés présentent certains inconvénients :

- L'aménageur doit prendre en compte les problèmes qui peuvent être posés par l'humidité (salissures par les spores de fougères, de mousses et de champignons, risques de court-circuit en cas d'éclairage artificiel, de chauffage, présence de pompes, etc.), et par le poids des végétaux qui grandissent.

- Ces murs peuvent aussi être colonisés par une faune d'invertébrés tolérés ou souhaités en a qua terrarium, mais non désirés dans une habitation ou un lieu public. Dans le cas de murs végétaux, le mur ou le support, s'ils ne sont pas conçus par l'architecte pour résister à l'eau enrichie de nutriments, doivent en être protégés.

- Certains murs maçonnés à la terre ou à la chaux hydraulique doivent être protégés de la pénétration de racines susceptibles de les dégrader. Un entretien et des vérifications régulières sont nécessaires.
- En cas d'utilisation de plantes exotiques, afin d'éviter d'importer des organismes indésirables ou microbes pathogènes, il est recommandé de travailler avec des horticulteurs spécialisés et des plantes dont l'origine est tractable et légale (Reuben F, 2011).

#### 3.6.7. Toiture végétalisés:

Le principe de la toiture végétale (que l'on appelle aussi : toit vert ou toit végétalisé) existe depuis la préhistoire. Il consiste à recouvrir d'un substrat végétalisé un toit plat ou à faible pente. Son succès était alors dû à ses diverses propriétés d'isolation, d'étanchéité, de résistance au feu et au vent, le tout avec des matériaux facilement disponibles localement.

Tout au long de l'histoire, ses applications se sont multipliées : elle a notamment été utilisée dans l'architecture militaire pour des raisons de camouflage ou de protection contre les obus.

Cette méthode consiste à recouvrir un toit plat ou faiblement incliné (jusqu'à 35° environ) d'un substrat végétalisé.

Esthétique, saine et écologique, la toiture végétalisée est une solution intelligente pour renforcer les performances thermiques et phoniques de son habitat. Mais on ne saurait l'envisager comme isolant unique. (Zeroual D, 2006)

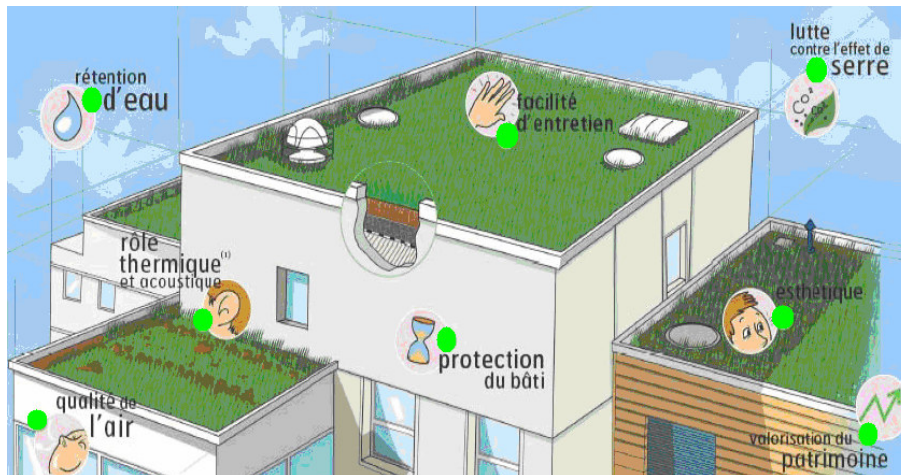
Une toiture végétalisée permet de compléter efficacement l'isolation d'un habitat, grâce à son inertie thermique : On évalue à 40% la réduction des variations de températures enregistrées par les maisons équipées d'un toit vert ce qui rend le dispositif très appréciable pour l'été et les climats chauds. Mais il faut compléter ce dispositif par un autre isolant (Zeroual D, 2006).

Sur le plan phonique, les performances du toit végétalisé sont très bonnes : en absorbant les ondes sonores, il réduit les nuisances aériennes ou d'impact.

Mais depuis les années 1970, face aux nouveaux enjeux liés à l'urbanisation, et à travers de nombreuses expériences, certains pays tels que l'Allemagne, les Pays-Bas, la Suisse et les Pays Scandinaves, se sont penchés sur les intérêts supplémentaires d'un point de vue technique et scientifique de la toiture végétalisée. Il est apparu que ces installations pouvaient jouer un rôle intéressant notamment dans la rétention des eaux de pluie, dans la

perspective de restauration ou protection de la biodiversité et dans l'amélioration de la qualité de vie en ville (Ernst, 2009).

### 3.6.7.1. Intérêt écologique et sanitaire



**Figure 3.25 :** Les atouts de la végétalisation des toitures

- La fixation des poussières atmosphériques et des polluants.
- évapotranspiration engendrée par les terrasses plantées élève l'humidité de l'air et favorise donc la formation de rosée, indispensable à la fixation des poussières et des pollens en suspension dans l'air. Les particules de plomb, de carbone, les matières organiques particulaires ou de faible densité sont fixées dans le substrat ou nourrissent les bactéries, plantes et insectes qui s'y développent. Ainsi, tout en étant affectées par la pollution, ces terrasses peuvent aussi contribuer à dépolluer l'air urbain (Foura S, 2007).
- Une diminution des taux de CO et CO<sub>2</sub>, pour plus de dioxygène produit.
- Une augmentation de la superficie disponible en espace de nature sauvage ou non, accessible ou non, mais aussi le cas échéant en espace de loisirs, ce qui soulagera les milieux naturels sur fréquentés, tout en diminuant le trafic et ses nuisances.
- Des effets bénéfiques sur le climat, les microclimats, l'hygrométrie, et donc sur la santé et le bien-être des habitants. L'écôtait permet de récupérer une partie de la surface perdue, à cause de l'occupation du sol par le bâtiment, par les espaces verts.
- De nombreux effets bénéfiques sur la biodiversité. La vie sauvage retrouve des habitats, des équilibres naturels se recréent. Sur les terrasses extensivement végétalisés, les plantes les plus adaptées sont les plantes de milieux secs et oligotrophes qui sont justement

menacées de disparition à cause de l'eutrophisation générale des milieux. Les cortèges faunistiques associés trouvent ainsi des îlots où leur survie est possible. On peut également associer un rucher à la toiture végétalisée, ce qui permet notamment la réintroduction des abeilles en ville, indispensables à la pollinisation des végétaux (Castleton H, 2010).

- La reconstitution d'un véritable maillage écologique et de corridors, qui autorisent au sein de la ville la circulation des espèces animales et végétales, les flux de gènes indispensables à la survie des espèces et à leur adaptation au milieu.
- Un impact très positif sur l'eau avec une filtration et une épuration biologique des eaux de pluies par complexations, par exemple, des métaux lourds dans le substrat.
- Une régulation des débits hydriques. Les toitures représentent jusqu'à 20 % des surfaces de nos villes. Les eaux de pluies qui tombent sur les toits sont ensuite acheminées vers les égouts pluviaux. Ceci surcharge les égouts et les stations d'épuration d'eau tout en causant parfois des inondations de sous-sols. À l'image d'une éponge, la toiture végétalisée accumule l'eau dont une partie est utilisée par les plantes, une autre est évaporée et une autre évacuée par les canalisations avec un retard favorisant le bon écoulement. Les toitures et terrasses plantées, par leur capacité de rétention (jusqu'à 90 % avec un substrat d'au moins 12 cm), d'évaporation et de relargage différé des eaux de pluies contribuent à lutter contre les effets néfastes de l'imperméabilisation des sols, à savoir : augmentation constante des débits de pointe, engorgement des réseaux d'assainissement en période crue, afflux de pollutions métalliques et organiques après les orages, etc. Annuellement, un toit végétal pourrait absorber jusqu'à 50 % de la quantité d'eau tombant sur les toits, permettant ainsi une réduction des coûts de traitement de l'eau de 5 à 10 %.
- Les villes sont toujours plus chaudes que les campagnes adjacentes (Bulle de chaleur urbaine). Le réchauffement excessif des toitures, du béton, de l'asphalte des rues et de la maçonnerie extérieure des murs réchauffe l'air environnant de quelques degrés supplémentaires. En Amérique, la température estivale moyenne dans les villes a augmenté durant les dix dernières années ajoutant encore à l'inconfort et aux malaises dus à la chaleur.
- selon une étude du Ministère canadien de l'Environnement, la présence de toitures vertes sur seulement 6 % des toits des villes canadiennes ferait descendre la température d'environ 1,5 °C et ferait ainsi économiser près de 5 % des coûts

de climatisation dans tous les immeubles climatisés des villes. La validation de cette hypothèse en France (système constructif et climat différent) est à l'étude en 2013.

#### 3.6.7.2. Impacts techniques : (Aboura R, 2006)

Un impact technique sur la durabilité et le confort du bâtiment. En effet, les toitures végétalisés offrent :

- une protection de l'étanchéité résulte du fait que les matériaux imperméabilisants résistent plus longtemps à l'abri des ultraviolets (UV) et du rayonnement thermique solaire. En effet, la dégradation des membranes est principalement due à la chaleur. Celle-ci dégrade les huiles du bitume élastomère qui devient alors plus cassant. Finalement, le substrat bloque aussi les rayons UV qui sont responsables d'environ 5 % du vieillissement des membranes. De plus, l'éco- toit constitue une barrière contre les intempéries. Ces actions combinées permettent d'espérer un doublement de la durée de vie de l'étanchéité, avec une durée de 30 à 50 ans pour la membrane d'étanchéité ;
- une protection contre les chocs thermiques (jour/nuit ou dues par exemple à une pluie froide sur toiture chaude), avec réduction des contraintes mécaniques. Les toitures végétalisés permettent une réduction des variations de température jusqu'à 40 %.
- une inertie thermique permettant de réaliser d'importantes économies d'énergie. Un goudron ou une membrane de toiture exposée au soleil peuvent atteindre une température de surface de 65 °C alors que la même membrane recouverte de végétaux demeure à une température de 15 à 20 °C. La température de la toiture influence la température intérieure d'un logement et donc les besoins de climatisation. Une toiture couverte de végétaux et de son substrat de culture (une terre légère) réduit aussi sensiblement les pertes de chaleur en hiver, mais cet impact est moindre que celui de la climatisation ; Une étude allemande de 2004 concluait que 40 € d'électricité pouvait être économisé en chauffage ou climatisation par m<sup>2</sup>/an (par rapport à terrasse couverte de gravier).
- une isolation phonique : la terre végétalisée est un des meilleurs isolants acoustiques, elle absorbe les ondes sonores. Elles permettent notamment de diminuer les bruits de l'environnement urbain. Un substrat de 12 cm d'épaisseur peut réduire les bruits aériens de près de 40 dB. Un avantage non négligeable dans les secteurs survolés par des avions à basse altitude. Selon une étude du laboratoire européen d'acoustique du bâtiment du CSTB à Marne-la-Vallée ; selon que le substrat soit sec ou humide, une TTV amorti le bruit de 15 à 20 décibels (par rapport à une toiture classique).



### **3.6.7.3. Impact paysager**

- Les toitures végétalisés redonnent aux villes, une réelle valeur esthétique et valorisent l'habitat en offrant une bonne solution pour que le bâtiment s'intègre dans son environnement.

- Judicieusement conçues, les toitures végétalisés redonnent aux villes, notamment industrielles, une indéniable valeur esthétique et valorisent l'habitat en offrant une bonne solution pour que le bâtiment s'intègre dans son environnement (Young , 2009).

### **3.6.7.4. Impact sur la santé**

- Amélioration de la qualité de l'air (hygrométrie, poussières, toxiques).

- La végétation supplémentaire apportée par les toits végétaux crée un apport de dioxygène dans les villes tout en filtrant bon nombre de polluants atmosphériques tels le dioxyde de soufre ou l'oxyde d'azote. De plus, les végétaux retiennent la poussière et réduisent la quantité de particules en suspension dans l'air.

### **3.6.7.5. Impact social**

- Les toitures végétalisés contribuent à rendre la vie plus sereine à la ville. Les habitants retrouvent une certaine harmonie entre urbanisme et nature(Young, 2009).

## **3.7. Efficacité énergétique dans le bâtiment**

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

### **3.7.1 Classification des bâtiments a efficacités énergétiques**

La conception des bâtiments à faible consommation d'énergie est un processus complexe qui nécessite une approche particulière. En effet, les choix techniques et architecturaux retenus pour ce genre de conception influent de manière très importante sur le comportement énergétique du bâtiment. Ainsi, la forme du bâtiment, sa compacité, son orientation, ont des conséquences significatives sur sa performance énergétique, de mauvais

choix peuvent entraîner des défaillances difficilement prévisibles dont l'impact sur la consommation énergétique du bâtiment n'est souvent découvert que lors de son exploitation (Mazari M, 2012).

Les bâtiments énergétiquement efficaces sont classés en quatre catégories : bâtiments basse consommation, bâtiments passifs, bâtiments à consommation nulle et bâtiments à énergie positive

### 3.7.2 Bâtiment à Basse Consommation Énergétique

Le bâtiment basse consommation (BBC) est défini par l'arrêté du 8 mai 2007 relatif au contenu et aux conditions d'attribution du label « haute performance énergétique ». Les bâtiments à usage autre que d'habitation sont considéré BBC lorsque la consommation conventionnelle d'énergie primaire du bâtiment pour le chauffage, le refroidissement, la ventilation, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage est inférieure ou égale à 50% de la consommation conventionnelle de référence, définie à l'article 9 de l'arrêté du 24 mai 2006 relatif à la réglementation thermique 2005.

Pour les bâtiments d'habitation l'objectif de performance BBC est fonction de la zone climatique et de l'altitude. La consommation conventionnelle d'énergie primaire du bâtiment pour le chauffage, le refroidissement, la ventilation, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage doit être inférieure à  $50 \text{ kWh/m}^2$  /an pondéré d'un coefficient géographique.

### 3.7.3 Bâtiments passifs

Un bâtiment passif est défini comme étant un bâtiment dans lequel l'ambiance intérieure est confortable tant en hiver qu'en été, sans devoir faire appel ni à un système conventionnel de chauffage ou de refroidissement.

Les bâtiments passives associent un confort inégalé à une très faible consommation d'énergie. Une conception et un savoir-faire de qualité jumelés à des fenêtres supérieures, à des niveaux d'isolation élevés et à une ventilation à récupération de chaleur sont les éléments clés qui distinguent la construction du bâtiment passive. En termes d'apparence, cependant, ces bâtiments extrêmement efficaces se fondent parfaitement avec leurs voisins conventionnels. En effet, le bâtiment passive décrit une norme de performance et non spécifique méthode de construction: tandis que les bâtiments Passive doivent répondre à des objectifs de demande

d'énergie spécifiques, les concepteurs de bâtiments sont libres de choisir la meilleure façon de les satisfaire.

#### **3.7.4. Bâtiments à énergie positive**

Un bâtiment zéro énergie ou à énergie positive est défini comme étant un bâtiment qui produit autant ou plus d'énergie qu'il n'en consomme. Ces bâtiments sont la combinaison de bâtiments basse énergie ou passifs avec des toits solaires photovoltaïques et parfois thermiques. Leur réalisation en France n'est possible aujourd'hui que via des subventions permettant de limiter le surcoût lié aux systèmes photovoltaïques. Leur développement à large échelle nécessite des évolutions fortes en ce qui concerne le coût des systèmes photovoltaïques.

De nombreux programmes d'opérations concernant les bâtiments zéro énergie ou à énergie positive sont en cours à l'étranger, comme au Japon, Etats-Unis, Canada, Allemagne et Nouvelle-Zélande. A l'exception du Japon, ces opérations sont basées sur le même concept de bâtiment. Les besoins d'énergie pour le chauffage, le refroidissement et l'électricité sont réduits à travers une bonne conception de l'enveloppe et des équipements performants et économes (Chlela F, 2008).

#### **3.8. Programme national des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique**

L'Algérie amorce une dynamique d'énergie verte en lançant un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables (ENR) et d'efficacité énergétique. Cette vision du gouvernement algérien s'appuie sur une stratégie axée sur la mise en valeur des ressources inépuisables comme le solaire et leur utilisation pour diversifier les sources d'énergie et préparer l'Algérie de demain. Grâce à la combinaison des initiatives et des intelligences, l'Algérie s'engage dans une nouvelle ère énergétique durable (MEM 2012).

Le programme consiste à installer une puissance d'origine renouvelable de près de 22000 MW entre 2011 et 2030 dont 12000 MW seront dédiés à couvrir la demande nationale en électricité et 10000 MW à l'exportation. A la faveur de ce programme, les énergies renouvelables se placent au cœur des politiques énergétiques et économiques menées par l'Algérie. D'ici 2030, environ 40 % de la production d'électricité destinée à la consommation nationale sera d'origine renouvelable.

Ce choix stratégique est motivé par l'immense potentiel en énergie solaire. Cette énergie constitue l'axe majeur du programme qui consacre au solaire thermique et au solaire

photovoltaïque une part essentielle. Le solaire devrait atteindre d'ici 2030 plus de 37% de la production nationale d'électricité.

Malgré un potentiel assez faible, le programme n'exclut pas l'éolien qui constitue le second axe de développement et dont la part devrait avoisiner les 3% de la production d'électricité en 2030. L'Algérie prévoit également l'installation de quelques unités de taille expérimentale afin de tester les différentes technologies en matière de biomasse, de géothermie et de dessalement des eaux saumâtres par les différentes filières d'énergie renouvelable.

### 3.8.1. Mesures concernant l'habitation

Le secteur résidentiel est à l'origine de 35% de la consommation d'énergie finale en Algérie. Les perspectives de développement du parc de logements conduiront à un accroissement exponentiel de cette consommation énergétique. Dans ce contexte, la réalisation de logements efficaces énergétiquement s'impose comme une nécessité à la maîtrise des consommations énergétiques du secteur résidentiel.

L'introduction des normes énergétiques dans le code des bâtiments semble n'avoir aucun effet perceptible, mais l'APRUE a adopté un programme ECO-BAT qui s'adresse au secteur de l'habitat avec pour objectifs (APRUE ,2007):

- Améliorer le confort thermique dans les logements et réduire la consommation d'énergie pour le chauffage et la climatisation;
- Mobiliser les acteurs clés dans le secteur du bâtiment autour de la question de l'efficacité énergétique;
- Démontrer la faisabilité des projets à haute performance énergétique en Algérie;

Renforcer les pratiques de formation afin de prendre en considération les aspects de l'efficacité énergétique dans la conception des bâtiments.

Le programme portera sur la réalisation de 600 logements à haute performance énergétique. Ces logements intégreront les principes de confort thermique et d'économie d'énergie dans la conception architecturale, le choix des matériaux de construction ainsi que dans les détails de mise en œuvre.

La mise en œuvre du programme ECO-BAT sera soutenue par des mesures incitatives sous forme d'expertise et d'un apport financier du Fond National pour la Maîtrise de l'Energie (FNME). Elle sera également accompagnée d'une bonne médiation ainsi que du lancement de cycles de formation à destination des bureaux d'études et des maîtres d'ouvrage.

Enfin, des journées techniques regroupant l'ensemble des acteurs du secteur du bâtiment seront également organisées. (APRUE ,2007)

Dans le cadre de la mise en œuvre de ce projet, un accord de partenariat a été signé entre l'APRUE et onze Offices de Promotion et de Gestion Immobilière (OPGI) en mai 2009 au ministère de l'habitat et du développement urbain. Cet accord définit les conditions pour l'intégration des mesures d'efficacité dans 600 logements pilotes dans les différentes zones climatiques du pays (répartis sur onze wilayas, figure 3.26); le financement des coûts supplémentaires est assuré à travers le Fonds national de maîtrise de l'énergie. (MEM, 2012)

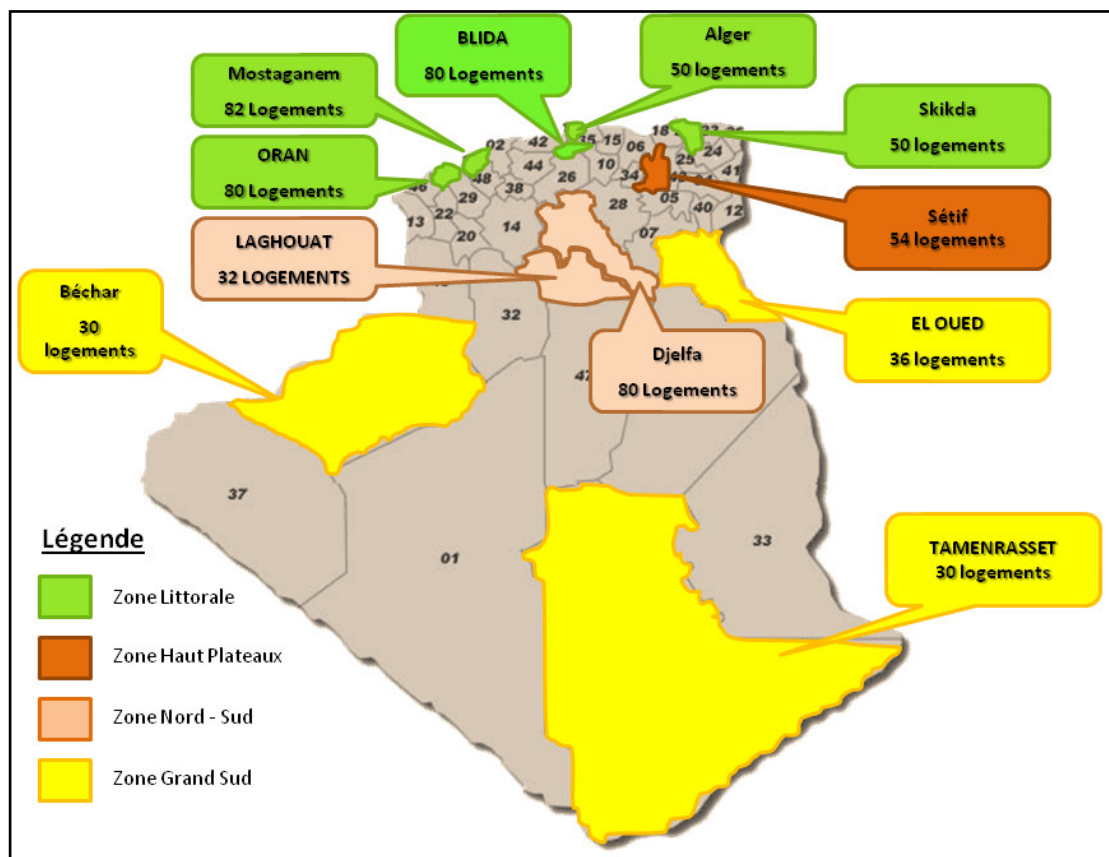


Figure 3.26 : Les onze wilayas dont le projet des BHE sera réalisé.

Parmi les solutions techniques devant être mis en pratique dans la réalisation du projet, on site qu'en hiver on cherche à limiter les déperditions thermiques (Isolation) et en été c'est la protection solaire et la ventilation naturelle.

Pour bien clarifier plus, on peut dire qu'on construise en général avec:

- Polystyrène dans la lame d'air;
- Mur en Béton de terre stabilisée;
- La menuiserie double vitrage.

Pour les logements en cours de réalisation, les surcoûts à la construction sont estimés à 12 à 15% du prix du mètre carré habitable.

**Tableau 3.1.**Projet des BHE dans la wilaya de Eloued, Skikda et Laghouat.

Wilaya	Projet
Eloued	<ul style="list-style-type: none"><li>• Utilisation de la végétation</li><li>• Réduction des ouvertures sur la façade ouest</li><li>• Prolongement des façades projeteuses d'ombre</li><li>• Emploi de la coupole pour favoriser le mouvement aéraulique</li><li>• Utilisation des moucharabiehs comme protections solaires</li><li>• Combinaison de l'inertie et de la ventilation</li></ul>
Skikda	<ul style="list-style-type: none"><li>• Protection solaires par des saillies sur les façades</li><li>• Isolation thermique des parois extérieures</li><li>• Emploi du double vitrage</li></ul>
Laghouat	<ul style="list-style-type: none"><li>• Protection solaires par des volets orientables et amovibles</li><li>• Inertie thermique : Murs extérieurs et intérieur en BTS et revêtement de sol en terre cuite</li><li>• Étanchéité saharienne sur les planchers terrasses</li><li>• Double vitrage et couleur blanche sur les façades exposées au soleil</li></ul>

On trouve dans l'annexe (A) des photos pour les différentes habitations compris par le projet.

### 3.9. Conclusion :

L'ambiance thermique dans les bâtiments est un facteur important pour le confort des occupants. Actuellement, la prise en compte du confort thermique dans les bâtiments se fait avec des méthodes et des outils élaborés à partir d'approches statiques, simplifiant la complexité des phénomènes interactifs. Ainsi, les exigences constructives favorisent le surdimensionnement des équipements de contrôle et de régulation des ambiances thermiques (systèmes de chauffage, de rafraîchissement et de climatisation), principales sources de

consommation d'énergie et d'émission de gaz à effet de serre, dans le bâtiment.

L'enveloppe est, naturellement, le lieu privilégié des relations entre espaces intérieurs et extérieurs. Il s'agit, alors, de gérer simultanément le rôle que joue la paroi du bâtiment, et celui qu'elle assure comme élément de contrôle des échanges intérieurs/extérieurs.

# **Chapitre 4**

## **Étude numérique et expérimentale de la ventilation naturelle**



### 4.1. Introduction

La ventilation naturelle est considérée comme un élément clé d'une architecture climatique, elle permet de renouveler l'air et d'évacuer l'air vicié. Ayant pour un rôle principal de rafraîchir l'ambiance en baissant la température. La ventilation naturelle est une stratégie passive, sans moyen mécanique, de maintenir un environnement intérieur confortable. Elle joue également un grand rôle dans la réduction de la consommation énergétique dans les locaux équipés par les moyens de climatisation conventionnelle. Parmi les systèmes de ventilation naturelle dans les habitats on peut citer : la cheminée solaire et l'échangeur air-sol.

Dans ce chapitre on s'intéresse à la ventilation naturelle par la cheminée solaire inclinée et l'échangeur air sol, en réalisant deux études ; L'une est expérimentale et l'autre est numérique.

Premièrement on présente une étude expérimentale, où on détermine le comportement d'écoulement d'air dans une cheminée solaire. Nous mesurons les paramètres physiques à l'entrée et à la sortie de la cheminée. Avec les données expérimentales, nous avons réalisé une simulation numérique bidimensionnelle; le calcul numérique est mené à l'aide du code de calcul Fluent version 6.3.26. Les équations régissant sont résolues par la méthode des volumes finis pour un écoulement turbulent basé sur le model k- $\epsilon$ . Nous évaluons un modèle d'échangeur air-sol, cette évaluation est présentée sous deux aspects. D'abord, une validation des résultats a été faite par des données extraites de la littérature. Ensuite, une analyse de l'influence des différents paramètres (longueur du puits, diamètre de la conduite, débit d'air et profondeur du puits) sur la performance de notre modèle, cela permet de dimensionner un modèle de puits canadien propre aux conditions climatiques de la ville d'Ouargla.

### 4.2. Cheminée solaire

#### 4.2.1. Description du dispositif expérimental :

Le dispositif réalisé est un appareil construit pour que la plupart des variables puisse être changés pendant les expériences. L'appareil expérimental est un canal dont l'épaisseur de la veine et l'angle d'inclinaison sont variables. La cheminée peut simuler un capteur solaire plan de longueur 2 m et de largeur 1m, et d'une épaisseur pouvant prendre des valeurs de 10, 20 et 30 cm. Elle est recouverte d'une plaque en verre d'épaisseur de 4 mm, au dessous de

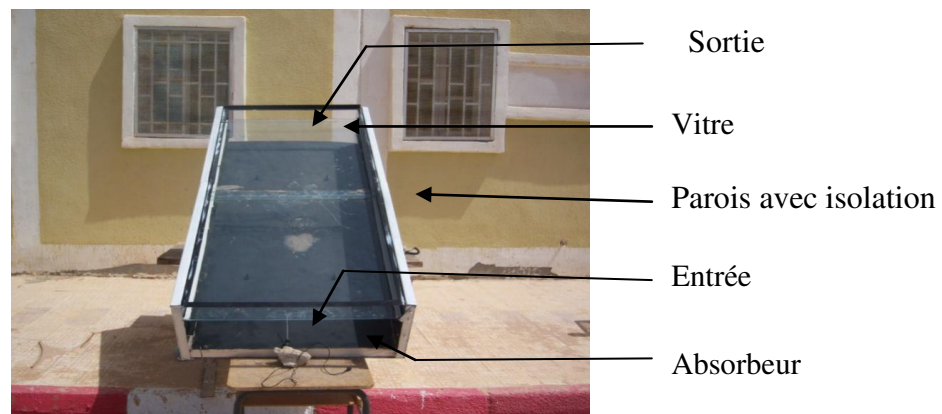
cette plaque on a déposé une tôle galvanisée en couleur noire qui sert à absorber le rayonnement solaire. Les côtés latéraux et la partie inférieure sont isolés thermiquement par du polystyrène d'une épaisseur de 40 mm. La cheminée prend les inclinaisons de 30 et 45 degrés par rapport au plan horizontal et orienté vers le sud.

### 4.2.2. Les constituants d'une cheminée solaire

Les principaux composants de la cheminée solaire présentée sur la figure (4.1) sont :

- La couverture transparente (la vitre).
- L'absorbeur.
- L'isolation thermique sur les trois parois de la cheminée.
- Le coffre ou le cadre.

Nous allons étudier chaque élément en particulier, en donnant les indications nécessaires pour réaliser ou choisir une cheminée solaire.



**Figure 4.1 :** La cheminée solaire

#### 4.2.2.1. Couverture transparente (vitre)

La couverture transparente est utilisée pour permettre de laisser passer le maximum de rayonnement solaire et d'éviter le refroidissement de l'absorbeur, en réduisant les phénomènes de convection de l'air et en créant l'effet de serre. Le matériau utilisé est le verre. La vitre est fixée sur le coffre de la cheminée. La transmission énergétique correspond au pourcentage du flux d'énergie solaire transmis directement à travers la vitre. Une partie du rayonnement solaire est réfléchié par les parois du vitrage, tandis qu'une autre partie est absorbée par celui-ci, transformée en chaleur en entraînant une augmentation de sa

température. La couverture a une fonction de protection de l'absorbeur mais elle joue également un rôle important dans le bilan thermique en réduisant les pertes de chaleur.

**Tableau 4.1 :** Caractéristiques de la vitre.

Désignation	Quantité
Epaisseur	$e = 4 \text{ mm}$
Densité	$\rho = 2515 \text{ kg /m}^3$
Chaleur massique	$C_p = 720 \text{ J/kg. K}$
Conductivité thermique	$k = 1.05 \text{ W/m. }^\circ\text{C}$
Coefficient d'absorption	$\alpha = 0.06$
Emissivité du verre	$\varepsilon = 0.90$
Coefficient de transmission	$\tau = 0.85$

### 4.2.2.2. Absorbeur

L'absorbeur est l'élément essentiel dans la cheminée solaire. Il doit absorber la plus grande partie du rayonnement solaire, et de transmettre la chaleur produite vers l'air entrant avec un minimum de perte. Généralement les absorbeurs sont réalisés avec des métaux présentant une bonne conductivité, voilà le tableau 4.2 qui regroupe quelques uns.

**Tableau 4.2. :** Caractéristiques des différents matériaux utilisés pour l'absorbeur.

Matière	Conductivité $\text{W/m.}^\circ\text{C}$	Chaleur massique $\text{kJ/kg.}^\circ\text{C}$	Masse volumique $\text{kg/m}^3$
Aluminium	230	0.895	2,700
Cuivre	380	0.385	8,930
Zinc	112	0.385	7,130
Acier (galvanisé)	52	0.727	7,900
Inox	52	0.711	7,900
Matières plastiques	0.2 – 0.4	0.836 - 1.045	1,000 à 1,500

Le matériau le plus utilisé est le cuivre, car il possède une bonne tenue à la corrosion et sa conductivité thermique est la plus élevée. Dans cette étude, on a utilisé l'acier galvanisé car il puisse résister la corrosion dans un milieu humide.

### 4.2.2.3. Lamé d'air

D'une manière générale l'épaisseur de lamé d'air influe sur les échanges convectifs existe entre l'absorbeur et le vitrage. La lamé d'air située entre la vitre et l'absorbeur se emploie comme un isolant vis-à-vis de la transmission de chaleur par conduction. Cependant, si l'épaisseur de cette lamé est trop grande, une convection naturelle interviendra à une perte d'énergie. Pour les températures usuelles de fonctionnement, l'épaisseur de la lamé d'air est de 2.5 cm. Pour des épaisseurs supérieures à 4 cm, les mouvements de convection sont importants et le coefficient d'échange n'est guère amélioré (Saadi S, 2007). Donc pour une lamé d'air comprise entre 10 et 30cm, le coefficient d'échange reste constant et la chaleur est transférée par convection naturelle.

### 4.2.2.4. Isolation des parois

L'isolation thermique des parois de la cheminée évite les déperditions thermiques par conduction. Parmi les isolants les plus utilisés, la laine de verre et les mousses de polyuréthane, leur épaisseur d'isolation varie de 4 à 8 cm. Le choix de l'isolant se base sur sa résistance aux températures de fonctionnement (maximum de 120°C). Le polystyrène dont la limite d'utilisation est 85°C. La laine de verre et la laine de roche sont sensibles à l'humidité et il faut veiller à ce qu'elles restent toujours sèches.

**Tableau 4.3:** Caractéristiques de quelques isolants (Guerdat J, 2007).

Désignation	Conductivité thermique (W/m.°C)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Température maximale d'utilisation (°C)
Laine de verre	0,050	70	150
Laine de roche	0,050	80 – 156	150
Polystyrène	0,035	35	85
Polyuréthane	0,027	35 - 45	110

Dans notre étude, nous avons utilisé le polystyrène comme isolant thermique en raison de sa conductivité thermique faible, malgré que les laines minérales telles que la laine de verre et surtout laine de roche ayant l'avantage de ne pas absorber l'humidité.

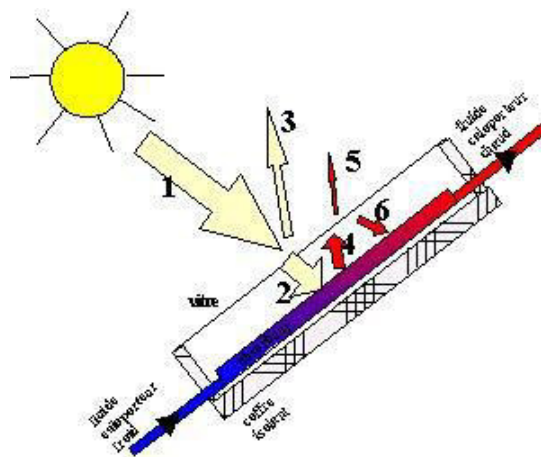
### 4 2.2.5. Coffre ou le cadre

Le coffre de la cheminée renferme les différents éléments actifs. Il assure une protection efficace aux agents atmosphériques. Les matériaux les plus utilisés, pour constituer

le fond du coffre sont la fibre de verre enduite de résine, et les fines feuilles de métal (acier galvanisé, aluminium, inox) avec protection par revêtement stable aux intempéries. Les points de fixation des cheminées sur leur support font partie le plus souvent du coffre. Ces éléments doivent permettre de résister aux efforts à l'arrachement induits par le vent.

### 4.2.3. Principe de fonctionnement de la cheminée solaire

Le rayonnement solaire incident atteint la surface de vitre, une partie de ce rayonnement solaire traverse la vitre est absorbée par la surface de l'absorbeur figure 4.2. Celui-ci émet en retour un rayonnement infrarouge (de la chaleur) à l'intérieur de la cheminée. Cette énergie créera une différence de température entre l'absorbeur et la vitre. L'air entre dans la cheminée, réchauffé par l'énergie solaire, sa densité diminue. L'air chaud est évacué par l'ouverture supérieure et remplacé par l'air froid entré par l'ouverture inférieure. La différence de pression est la fonction de la hauteur effective de l'effet de cheminée et de la différence de masse volumique de l'air extérieur et l'air intérieur (la masse volumique de l'air est directement proportionnelle à la température). La hauteur effective de l'effet de la cheminée peut être considérée comme étant la distance verticale entre les ouvertures. On peut dire que la différence de la température crée un mouvement d'air ascendant appelé le tirage naturel ou ventilation naturelle.



**Figure 4.2:** Le rayonnement dans la cheminée solaire.

- 1 : Rayonnement solaire incident
- 2 : Rayonnement solaire transmis à travers la vitre vers l'absorbeur
- 3 : Rayonnement solaire réfléchi par la vitre vers l'extérieur
- 4 : Rayonnement infrarouge produit par l'absorbeur vers la vitre

5 : rayonnement infrarouge transmis par la vitre vers l'extérieur

6 : rayonnement infrarouge réfléchi par la vitre vers l'absorbeur

#### **4.2.3.1. Bilan thermique de la cheminée solaire**

Le bilan énergétique par unité de surface de la cheminée s'écrit (Mennouche D., 2006):

$$\varphi_a = \varphi_u + \varphi_p + \varphi_s \quad (4.1)$$

Où :  $\varphi_a$  Le flux solaire absorber à la surface de l'absorbeur,

$\varphi_u$  La puissance utile récupérée par le fluide caloporteur,

$\varphi_p$  La puissance perdue par convection et conduction vers l'arrière de la cheminée et par convection, conduction et rayonnement vers la face avant de la cheminée.

$\varphi_s$  La puissance stockée sous forme de chaleur dans les différents éléments de la cheminée solaire lorsque le régime thermique est variable.

#### **4.2.3.2. Les différentes quantités du rayonnement dans la cheminée solaire**

- **L'énergie solaire incidente sur la vitre**

L'énergie solaire incidente est la quantité du rayonnement rassemblée par une surface horizontale pendant les heurs de la lumière du soleil (Maalem. M. S, 1983).

$$G = \int q_s(t)dt \quad (4.2)$$

$$G = Q_t + Q_r + Q_a \quad (4.3)$$

- **L'énergie solaire transmise à travers la vitre**

Cette énergie dépend la transmission de la vitre utilisée dans un intervalle pris entre (70 à 95%) pour les différents types de la vitre. La quantité d'énergie solaire travers la surface de la vitre est de :

$$Qt = \tau_g G \quad (4.4)$$

$\tau_g$  : Coefficient de transmission de la vitre.

- **L'énergie solaire absorbée par la vitre**

Pour les différents types des matières transparentes, le coefficient d'absorption est de 5 à 20% de l'énergie totale incidente. L'énergie solaire absorbée :

$$Qa = \alpha_g G \quad (4.5)$$

$\alpha_g$  : Coefficient d'absorption de la vitre.

- **L'énergie solaire réfléchi par la vitre**

L'énergie réfléchi est donnée par:

$$Qr = \rho_g G \quad (4.6)$$

$\rho_g$  : Coefficient de réflexion de la vitre

- **L'énergie absorbée par l'absorbeur**

La quantité du rayonnement solaire absorbée par l'absorbeur S2 est calculée à partir

$$Q_{ab} = \tau \alpha_w G \quad (4.7)$$

Avec  $\alpha_w$  : coefficient de réflexion de l'absorbeur, et  $\tau$  : coefficient de transmission.

- **Transfert de chaleur par rayonnement à l'extérieur de la cheminée**

La perte d'énergie par rayonnement à l'extérieur de la cheminée est donnée par la relation suivante (Bhaduri. S et al, 1983):

$$Q_{ra} = \varepsilon_g \sigma (T_{ge}^4 - T_s^4) \quad (4.8)$$

Avec :  $\sigma$  (constante de Stefan Boltzmann) =  $5.67 \times 10^{-8} \text{ W /m}^2\text{K}^4$

Et  $\varepsilon_g$  (émissivité de la vitre) = 0.9

$$T_s = 0.0552 T_a^{1.5} \quad (4.9)$$

- **Energie transférée par rayonnement entre l'absorbeur et la vitre**

L'énergie transmis par rayonnement entre l'absorbeur et la vitre a été obtenu à partir (Mathur J, 2004):

$$Q_{wg} = \frac{\sigma (T_g^2 + T_w^2)(T_g + T_w)(T_g - T_w)}{(\frac{1}{\varepsilon_g} + \frac{1}{\varepsilon_w} - 1)} \quad (4.10)$$

$\varepsilon_w$  : (Émissivité de l'absorbeur) = 0.95

### 4.2.4. Appareillages de mesures

Dans cette étude expérimentale sur la cheminée solaire, nous avons fait des tests pour fournir des données de mesure pour le modèle de simulation. Les mesures ont été effectuées

au laboratoire VPRS à l'université Kasdi Merbah-Ouargla. Afin d'estimer l'efficacité de la cheminée solaire, les expériences ont été réalisées durant une période de climat tempéré avec un ciel clair, et les mesures sont prises entre 8h et 16h avec un pas de temps égal à trente minutes (30 min). Une cheminée solaire a été construite pour qu'on puisse modifier au cours des expériences l'épaisseur de la veine d'air et l'inclinaison de la cheminée. Pour connaître les paramètres physiques de l'air, telle que la température, la vitesse de vent et le rayonnement solaire...etc.

### 4.2.4.1. Mesure du rayonnement solaire

Le rayonnement global reçu sur le plan de la cheminée est exprimé en  $W/m^2$  et déterminé à l'aide d'un pyranomètre, et ceci durant la journée de l'expérience. Les résultats obtenus sont affichés sur l'appareil à affichage numérique.



Figure 4.3: Pyranomètre à affichage numérique

### 4.2.4.2. Mesure des températures

La mesure des températures s'effectue à l'aide des thermocouples de type K (figure 4.4) dans plusieurs endroits présélectionnés de la cheminée solaire. Cinq thermocouples ont été placés sur le système, repartis comme suit :

- Thermocouples à l'entrée de la cheminée.
- Thermocouples à la sortie de la cheminée.
- Thermocouples au niveau de la plaque absorbante.
- Thermocouples au niveau du vitrage.
- Thermocouple au milieu de la cheminée, pour mesurer la température de l'air à l'intérieur de la cheminée.





**Figure 4.4:** Thermocouple de type K

### 4.2.4.3. Mesure de la vitesse de l'air et du débit volumique

La vitesse et le débit volumique de l'air à l'entrée et à la sortie de la cheminée solaire sont mesurés à l'aide d'un anémomètre à fil chaud connecté à un appareil de marque testo 425 avec une précision de 0.01 m/s (Figure 3.5).



**Figure 4.5 :** Testo 425

### 4.2.4.4. Mesure de la température ambiante

La mesure de la température ambiante s'effectue à l'aide d'un Thermo-hygromètre de type Testo608-HI avec une précision de 0,1°C.



**Figure 4.6 :** Thermo-hygromètre Testo 608-H1.

4.2. 5 Analyse et interprétation des résultats expérimentaux

4.2.5.1. Variation du rayonnement global

La figure (4.7) présente la variation du rayonnement global en fonction du temps correspondant à une journée claire (02 Juin 2010), elle a une forme gaussienne dont la valeur maximale de rayonnement est de 784 W/m<sup>2</sup> à 12h :30 et une valeur minimale de 466 W/m<sup>2</sup> à 9h:00 lors du début des mesures.

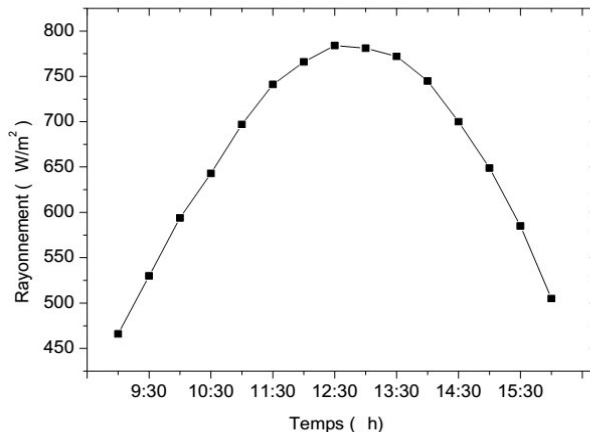


Figure 4.7: Variation de rayonnement en fonction du temps.

4.2.5.2. Evolution des différentes températures et le rayonnement solaire

La figure (4.8) représente la variation des différentes températures (ambiante, absorbeur, vitre et de l’air à l’intérieur de la cheminée) et l’intensité du rayonnement solaire en fonction du temps correspondant à la journée du 26 Mai 2010.

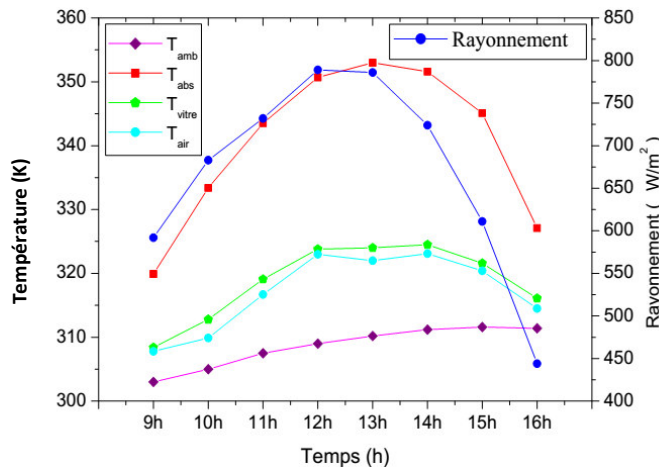
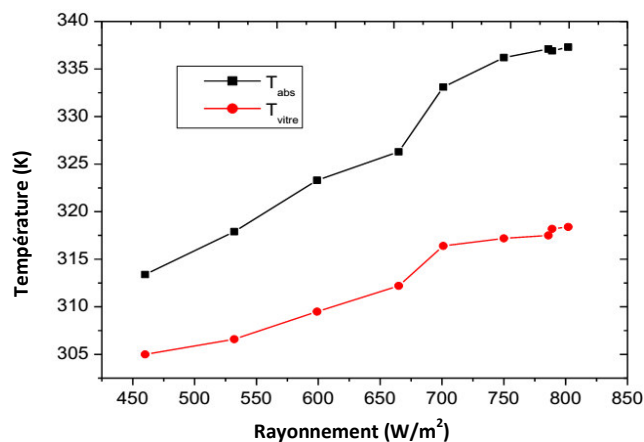


Figure 4.8: Variation des différentes températures et l’intensité de rayonnement solaire en fonction du temps.

D'après la figure (4.8), on remarque que l'allure des températures est identique à celle du rayonnement solaire. La température est élevée au niveau de l'absorbeur de la cheminée solaire. On observe une augmentation des températures dès la période de 09h00 à 13h00, où la valeur maximale de la température de l'absorbeur ( $T_{abs}$ ) atteint 353 K à 13h00, et celles de la vitre et de l'air à l'intérieur de la cheminée atteignent respectivement 324K, et 323K pour la période allant de 12 h à 14 h. Ceci est dû à l'augmentation de la densité de flux solaire incident pour cette période. Par contre l'après midi, on observe une diminution progressive de la température d'absorbeur et aussi l'intensité du rayonnement. En outre, les températures de vitre et de l'air à l'intérieur de la cheminée restent presque constantes entre 12h00 et 14h00, et diminuent plus lentement après 14h00, malgré que l'intensité de rayonnement solaire diminue aussi. Cela est dû au fait que l'absorbeur dégage une quantité de chaleur.

### 4.2.5.3. Effet du rayonnement sur les températures d'absorbeur et de vitre

La transmission du rayonnement solaire dans la cheminée crée certainement une différence de température. Les évolutions respectives de la température moyenne de vitre et de l'absorbeur en fonction de l'intensité de rayonnement sont représentées sur la figure (4.9).

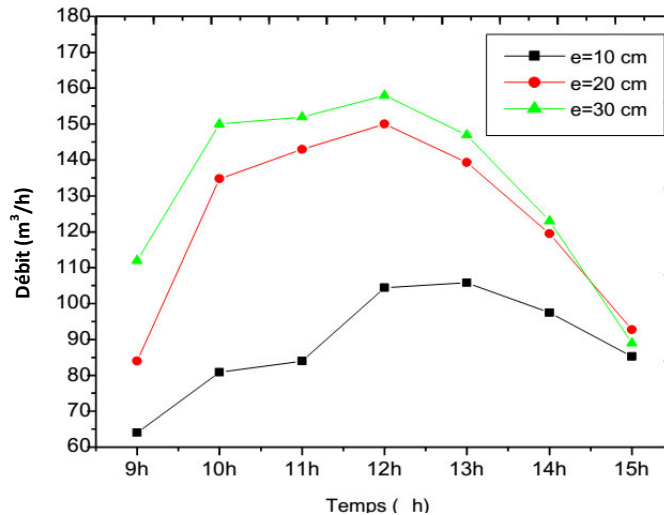


**Figure 4.9:** Variation des températures du vitre et d'absorbeur en fonction de l'intensité de rayonnement ( $\alpha=45^\circ$ ,  $e=20$  cm).

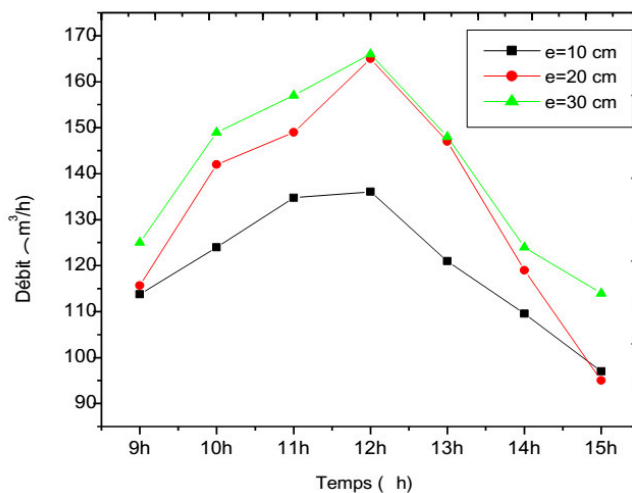
La courbe obtenue nous indique la différence de température entre l'absorbeur et la vitre. On observe une augmentation linéaire de l'ensemble des températures avec l'augmentation de l'intensité de rayonnement solaire, en raison de la nature de l'absorbeur qui absorbe et stocke l'énergie thermique. L'énergie absorbée provoque une élévation de la température de l'absorbeur, la grande quantité de cette énergie est consommée par l'air dans la cheminée afin de l'accélérer.

### 4.2.5.4. Etude comparative de l'épaisseur de la cheminée et de l'inclinaison

Les Figures 4.10 et 4.11 représentent la variation du débit volumique en fonction du temps pour des épaisseurs différentes de la lame d'air ( $e=30\text{ cm}$ ,  $e=20\text{ cm}$ ,  $e=10\text{ cm}$ )



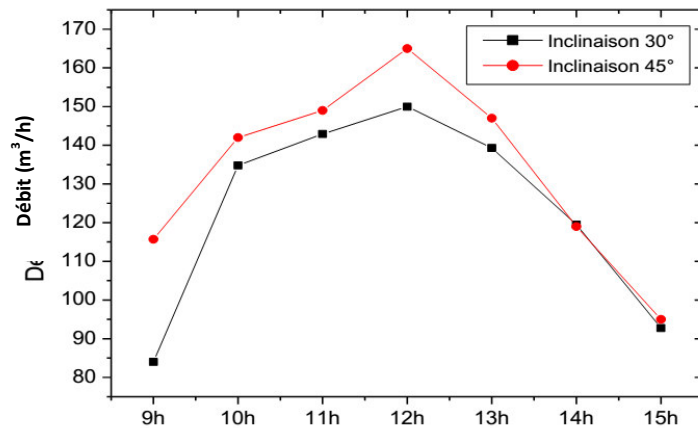
**Figure 4.10:** Effet de la variation de l'épaisseur de la cheminée à une inclinaison de  $30^\circ$  sur le débit sortant.



**Figure 4.11:** Effet de la variation de l'épaisseur de la cheminée à une inclinaison de  $45^\circ$  sur le débit sortant.

D'après les figures (4.10) et (4.11), on observe que les courbes correspondant aux trois épaisseurs de la veine d'air ont une allure semblable de forme gaussienne, où le débit d'air atteint une valeur maximale à 12h, cela est dû au rayonnement solaire absorbé dans cette période puis une diminution progressive à l'après midi. On constate aussi que l'augmentation

de l'épaisseur engendre une augmentation de débit volumique de l'air dans la cheminée solaire pour toutes les heures de la journée.



**Figure 4.12:** Effet de la variation de l'inclinaison de la cheminée à une épaisseur de 20 cm sur le débit sortant.

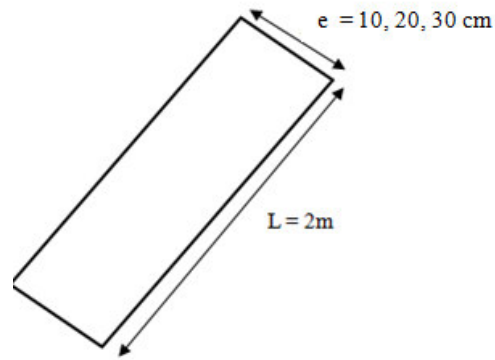
La figure (4.12) présente l'évolution du débit volumique en fonction du temps pour deux inclinaisons et une épaisseur de lame d'air prise égale à 20 cm. Les courbes ont la même forme que celles des figures précédentes (figures 4.10 et 4.11). On remarque que les débits correspondant à l'angle 45° sont plus élevés par rapport à ceux obtenus avec une inclinaison de 30°.

### 4.2.6. Les modèles physiques

Dans ce travail, nous avons étudié deux modèles physiques: le premier modèle est une cheminée solaire seule, et le second est une pièce munie d'une cheminée solaire.

#### 4.2.6.1. Cheminée solaire

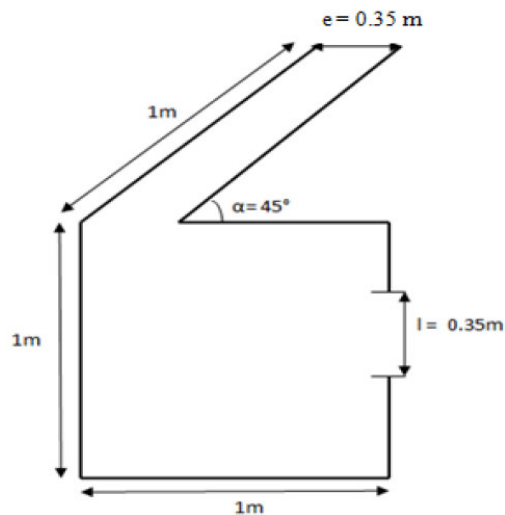
Le premier modèle physique considéré est schématisé sur la figure 4.13. Il s'agit d'une cheminée solaire de dimensions citée auparavant, dont l'absorbeur et le vitre sont maintenues à une température constante. Il est nécessaire de connaître un certain nombre de paramètres tels que la géométrie de la cheminée solaire (Figure 4.13), les caractéristiques des matériaux utilisés et les paramètres physique de l'écoulement tels que les températures et la vitesse de l'air à l'entrée et à la sortie de la cheminée.



**Figure 4.13:** Modèle physique de la cheminée solaire.

### 4.2.6.2. Pièce munie d'une cheminée :

Le deuxième modèle physique étudié dans ce présent travail est donné par la (figure 4.13) Ce modèle est considéré comme une chambre de forme cubique de dimension (1m x 1m x 1m). La partie supérieure de cette chambre est équipée d'une cheminée solaire inclinée d'un angle de  $45^\circ$ , et de dimension 1m x 0.2m. Tous les côtés de la chambre sont adiabatiques, pour éliminer le transfert de chaleur avec le milieu ambiant. La chambre a une fenêtre de 0.35m x 1m sur une des parois verticales.



**Figure 4.14:** Modèle physique de la pièce munie d'une cheminée solaire.

### 4.2.7. Les hypothèses

La description physique devient rapidement très compliquée. Il convient donc de faire un certain nombre d'hypothèses, permettant d'arriver à un temps de calcul correct. Le choix est porté sur un domaine bidimensionnel, et les hypothèses utilisées dans ce travail sont:

- L'écoulement est bidimensionnel.
- L'écoulement permanent.
- L'écoulement de l'air est turbulent.
- Le fluide est newtonien et incompressible.
- L'absorbeur et le verre sont toujours parallèles.
- La température de l'air à l'entrée du canal d'écoulement est égale à la température ambiante.

### 4.2.8. Les équations régissant

#### 4.2.8. 1. Equation de continuité

Considérons un écoulement du fluide traversant un volume de contrôle montré dans la figure 4.13. La conservation de la masse dans le volume de contrôle exige que la somme des masses entrantes et sortantes à travers ce volume soit nulle.

$$\left[ \begin{array}{l} \text{La masse} \\ \text{entrant à AB} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{l} \text{La masse} \\ \text{sortant à CD} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{l} \text{La masse} \\ \text{entrant à AD} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{l} \text{La masse} \\ \text{sortant à BC} \end{array} \right] = 0 \quad (4.11)$$

Et puisque l'écoulement est considéré bidimensionnel, l'unité des sections de passage AB, CD, AD et BC est réduite à l'unité de longueur, donc :

- La masse traversant AB par unité de temps =  $(\rho u) \cdot (\text{Aire de AB}) = \rho u \cdot dy$
- La masse traversant AD par unité de temps =  $(\rho v) \cdot (\text{Aire de AD}) = \rho v \cdot dx$

Alors l'équation (4.11) devient :

$$\rho u dy - \left[ (\rho u dy) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u dy) dx \right] + \rho v dx - \left[ (\rho v dx) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v dx) dy \right] = 0 \quad (4.12)$$

Après la simplification de l'équation (4.12), on obtient l'équation de continuité :

$$\frac{\partial}{\partial x} (\rho u) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v) = 0 \quad (4.13)$$

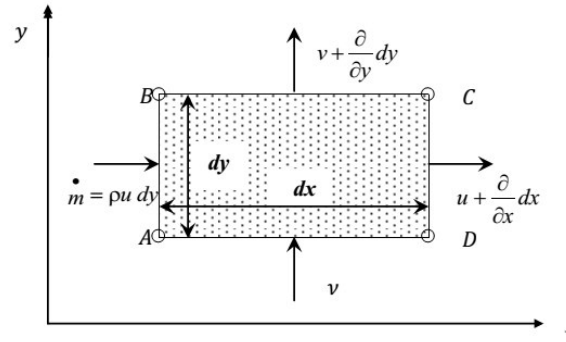


Figure 4.15: Volume de contrôle considéré

#### 4.2.8. 2. Equation de conservation de quantité de mouvement

L'équation de la conservation du mouvement à travers le volume de contrôle montré dans la figure 4.13 est :

$$\left[ \begin{array}{c} \text{débit net de} \\ \text{quantité de} \\ \text{mouvement} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} \text{force} \\ \text{de} \\ \text{pression} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{c} \text{force} \\ \text{de} \\ \text{frottement} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{c} \text{force} \\ \text{de} \\ \text{pesanteur} \end{array} \right] \quad (4.14)$$

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial u}{\partial t} dx dy + \left[ (\rho u^2 dy) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u^2 dy) dx - (\rho u^2 dy) \right] + \left[ (\rho v u dx) \frac{\partial}{\partial y} (\rho v u dx) dy - (\rho v u dx) \right] \\ = p dy - \left[ p dy + \frac{\partial}{\partial x} (p dy) dx \right] + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) dx dy \end{aligned} \quad (4.15)$$

- **Suivant la direction (x)**

L'équation (4.15) devient :

En divisant l'équation par  $dx \cdot dy$ , on obtient

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u^2) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho v u) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (4.16)$$

Le terme gauche de l'équation (4.16) peut être exprimé comme suit :

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u^2) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho v u) &= \rho \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial (\rho u)}{\partial x} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial}{\partial y} (\rho v) + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} \\ &= \rho \frac{\partial u}{\partial t} + u \left[ \frac{\partial}{\partial x} (\rho u) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v) \right] + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} \end{aligned} \quad (4.17)$$

Le terme représentant l'équation de continuité est nul, alors l'équation (4.17) devient pour un écoulement permanent:



$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (4.18)$$

- Suivant la direction (y)

$$\begin{aligned} & \rho \frac{\partial v}{\partial t} dx dy + \rho v^2 dx + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v^2 dx) dy - \rho v^2 dx + \rho uv dy + \frac{\partial}{\partial x} (\rho uv dy) dx - \rho uv dy \\ & = p dx - \left[ p dx + \frac{\partial}{\partial y} (p dx) dy \right] + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) dx dy - \rho' g dx dy \end{aligned} \quad (4.19)$$

La simplification de l'équation (IV.9) donne pour un écoulement permanent: (4.20)

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \frac{\rho'}{\rho} g \quad (4.20)$$

#### 4.2.8. 3. Equation de conservation de l'énergie

$$\frac{1}{r} \frac{\partial (r \rho u T)}{\partial r} + \frac{\partial (\rho w T)}{\partial z} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r c_p \left( \frac{\mu_t}{Pr_t} + \frac{\mu}{Pr} \right) \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( c_p \left( \frac{\mu_t}{Pr_t} + \frac{\mu}{Pr} \right) \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \Phi \quad (4.21)$$

Où  $Pr_t$  est un nouveau paramètre appelé : nombre de Prandtl turbulent.

#### 4.2.8. 4. Equation de l'énergie cinétique turbulente

$$\frac{1}{r} \left[ \frac{\partial (r \rho u k)}{\partial r} + \frac{\partial (r \rho w k)}{\partial z} \right] = \frac{1}{r} \left[ \frac{\partial}{\partial r} \left( r \left( \frac{\mu_t}{\sigma_k} + \mu \right) \frac{\partial k}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( r \left( \frac{\mu_t}{\sigma_k} + \mu \right) \frac{\partial k}{\partial z} \right) \right] + Pk - \rho \varepsilon \quad (4.22)$$

#### 4.2.8. 5. Equation du taux de dissipation

$$\begin{aligned} & \frac{1}{r} \left[ \frac{\partial (r \rho u \varepsilon)}{\partial r} + \frac{\partial (r \rho w \varepsilon)}{\partial z} \right] \\ & = \frac{1}{r} \left[ \frac{\partial}{\partial r} \left( r \left( \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} + \mu \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( r \left( \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} + \mu \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) \right] + C_{\varepsilon 1} + \frac{\varepsilon}{k} PK - C_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{K} \end{aligned} \quad (4.23)$$

Avec :

$$PK = (\mu_t + \mu) \left[ 2 \left( \frac{\partial u}{\partial r} \right)^2 + \left( \frac{u}{r} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] + (\mu_t + \mu) \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r} \right)^2 \quad (4.24)$$

En générale, pour des écoulements turbulents libres, à haut nombre de Reynolds, les valeurs des diverses constantes de ce modèle sont : (Macias M, 2006).

$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 2}$	$C_{\mu}$	$\sigma_k$	$\sigma_{\varepsilon}$
1.44	1.92	0.09	1.00	1.3

### 4.2.9. Les conditions aux limites

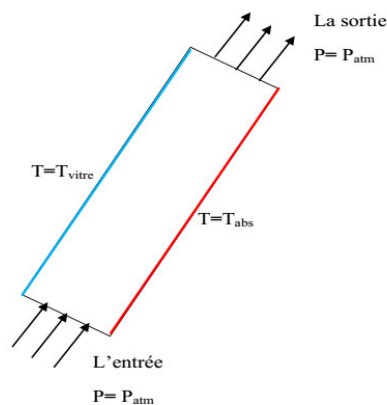
Les conditions aux limites sont les conditions imposées à la frontière externe du domaine étudié. Elles sont nécessaires pour que le problème mathématique soit correctement traité.

- **A l'entrée et à la sortie :**

A l'entrée et à la sortie du système, la condition est fixée et elle est de type Dirichlet. Alors la condition à l'entrée et à la sortie de système est égale la pression atmosphérique.

- **Les parois solides (l'absorbeur et la vitre)**

Sur les parois solides, les conditions sont de type Dirichlet. En ce qui concerne le champ dynamique, nous imposons la condition d'adhérence qui est traduit par une vitesse nulle sur les parois. Pour le champ thermique, une température constante sur la vitre et l'absorbeur doit être fixée.



**Figure 4.16 :** Les conditions aux limites.

Les conditions aux limites pour le deuxième modèle sont identiques à celles du premier modèle. La condition à l'entrée est imposée au niveau de la fenêtre qui est supposée l'entrée du domaine de calcul. Les autres parois de la pièce sont considérées adiabatiques.

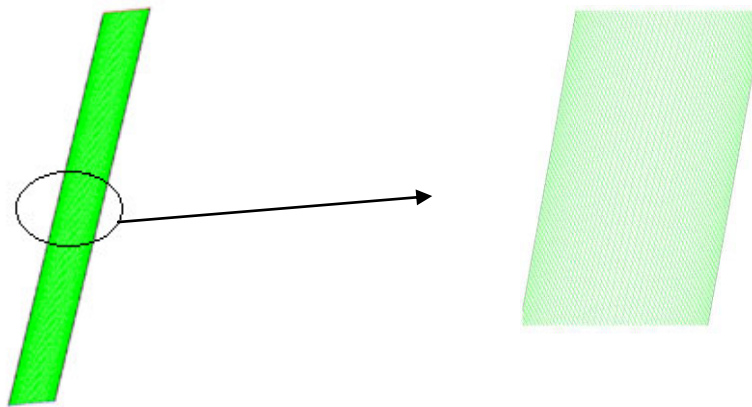
### 4.2.10. Choix du maillage

Le nombre de cellules nécessaires pour résoudre un problème dépend de la précision attendue. Il est important que le maillage soit resserré dans toutes les zones où les variables présentent de forts gradients, en particulier au voisinage des parois. Afin de choisir un maillage optimal pour obtenir des résultats numériques acceptables, on fait varier le nombre de cellules et on observe l'évolution des résidus en fonction du nombre d'itérations. La différence relative entre le débit à l'entrée et la sortie de la cheminée est choisie comme critère de convergence. Les valeurs des résidus choisis sont égales à  $10^{-3}$  pour les équations de mouvement, de continuité, d'énergie cinétique turbulente et l'équation de dissipation turbulente, et de  $10^{-6}$  pour l'équation d'énergie. Nous avons opté pour les conditions de fonctionnement suivantes : ( $T_{amb}=303K$ ,  $T_{abs}=327.4K$ ,  $T_{vitr}=314.3K$ ,  $\beta= 0.0031K^{-1}$ ,  $\rho=1.0877 kg/m^3$ ,  $\mu= 1.9444.10^{-5} kg/s.m$ ,  $K=0.0278W/m.K$ ,  $C_p=1007.83 J/kg.K$ ).

**Tableau 4.4:** Différence de débit massique entrant et sortant de la cheminée et le nombre des itérations

Nombre des itérations	Différence relative de débit massique de l'air entrant et sortant (%)	Taille du maillage
376	$3.21 \cdot 10^{-3}$	800x30
380	$4.56 \cdot 10^{-3}$	800x40
385	$3.54 \cdot 10^{-3}$	800x50
387	$1.237 \cdot 10^{-3}$	800x60
413	$1.49 \cdot 10^{-3}$	800x70
430	$1.18 \cdot 10^{-3}$	800x80

On choisit le maillage qui donne une différence entre le débit massique entrant et sortant de la cheminée avec un nombre minimal d'itérations (minimisé le temps de calcul), Après les calculs précédents on choisit le maillage (800 x 60) irrégulier, raffiné au niveau des parois, afin de détecter les échanges thermiques à ce niveau figure.

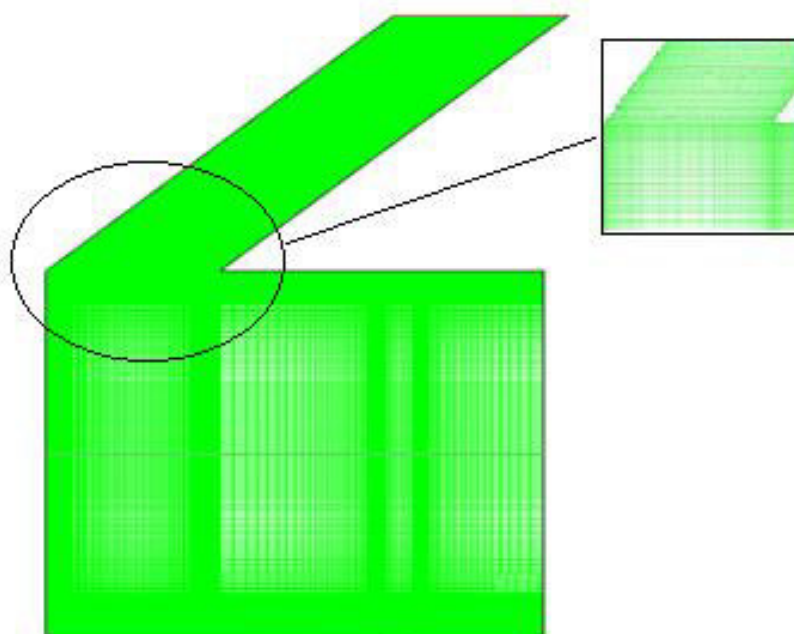


(a) : maillage complet

(b) : Partie de maillage

**Figure 4.17:** Maillage du premier modèle.

Le maillage utilisé pour le deuxième modèle est caractérisé par:: 91725cellules, 184300 faces, et 92576 nœuds.



**Figure 4.18:** Maillage du deuxième modèle.

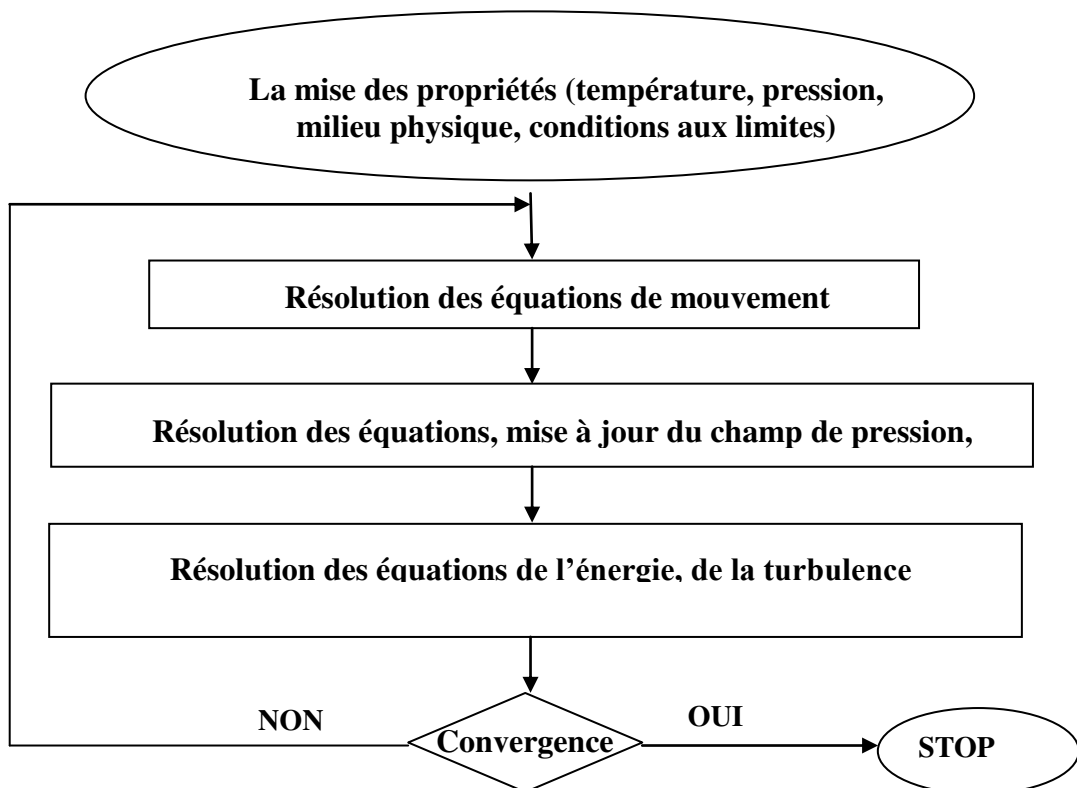
4.2.11. Les expressions des paramètres physiques de l'air (Mathur J, 2006)

Tableau 4.5 : Les paramètres physiques de l'air.

Désignation	Expression
Température moyen entre l'absorbeur et le vitrage	$T_m = (T_{abs} + T_{vitre}) / 2$
Coefficient de dilatation thermique volumétrique de l'air	$\beta = 1/T_m$
Densité (la masse volumique)	$\rho = [1.1614 - 0.00353 (T_m - 300)]$
Viscosité dynamique	$\mu = [1.846 + 0.00472 (T_m - 300)] \times 10^{-5}$
Viscosité cinématique	$\nu = \mu / \rho$
Conductivité thermique de l'air	$K = [0.0263 + 0.000074(T_m - 300)]$
Chaleur spécifique du fluide.	$C_p = [1.007 + 0.00004(T_m - 300)] \times 10^3$

4.2.12. Organigramme de calcul

L'organigramme de notre modèle est présenté ci-dessous

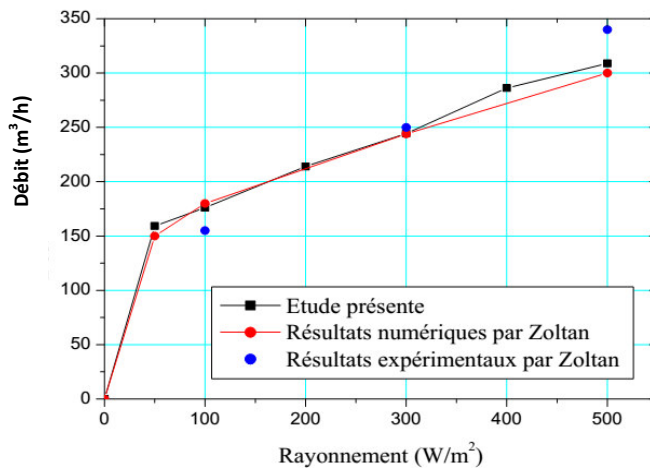


### 4.2.13. Résultats et discussions

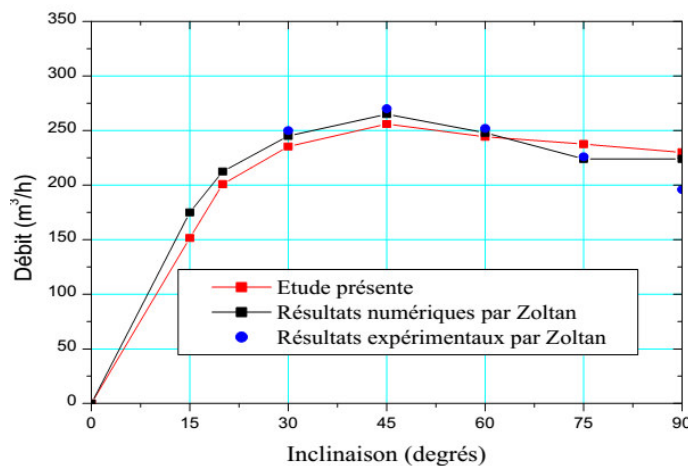
#### 4.2.13.1. Cheminée solaire :

##### a. Validation du premier modèle numérique

La première étape consiste à valider notre modèle de simulation numérique en comparant les résultats obtenus avec ceux publiés par (Zoltan A, 2004).



**Figure 4.19:** Variation du débit volumique en fonction du rayonnement solaire correspond à  $\alpha=60^\circ$  et d'épaisseur de 20 cm.



**Figure 4.20:** Variations de débit volumique en fonction de l'inclinaison pour une épaisseur de 20 cm et un rayonnement de 300 W/m<sup>2</sup>.

Les figures (4.19) et (4.20) représentent respectivement les variations de débit avec le rayonnement solaire et l'inclinaison, pour une cheminée de 2 m de longueur et 1 m de largeur et une épaisseur de 20 cm. Au vu de ces figures, on remarque que les courbes données par la présente étude et celles présentées par Zoltan sont presque identiques. L'écart entre les différents résultats (étude présente et numériques) est illustré dans le tableau suivant.

Tableau 4.6. Les résidus pour les différentes équations

Equation	Quantité du mouvement selon x	Quantité du mouvement selon y	Equation de continuité	Equation d'énergie	K	Epsilon
Résidu	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$

**b. Comparaison des résultats numériques et expérimentaux**

La deuxième étape consiste à valider notre simulation numérique en faisant une comparaison entre les résultats expérimentaux et les résultats numériques.

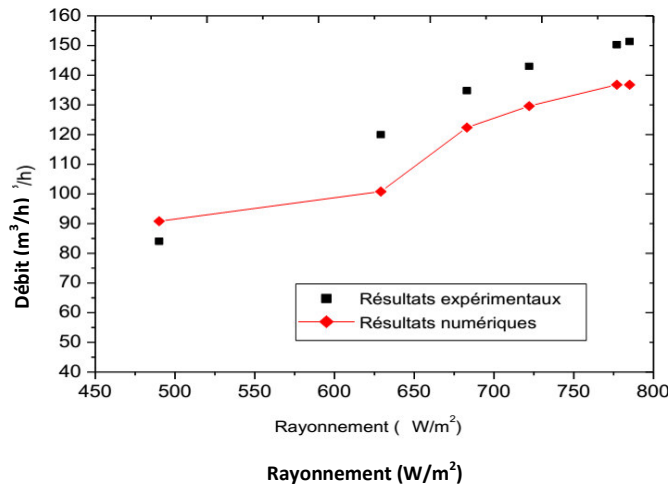


Figure 4.21: Comparaison entre les résultats expérimentaux et de simulation ( $\alpha=30^\circ$  et  $e= 20$  cm).

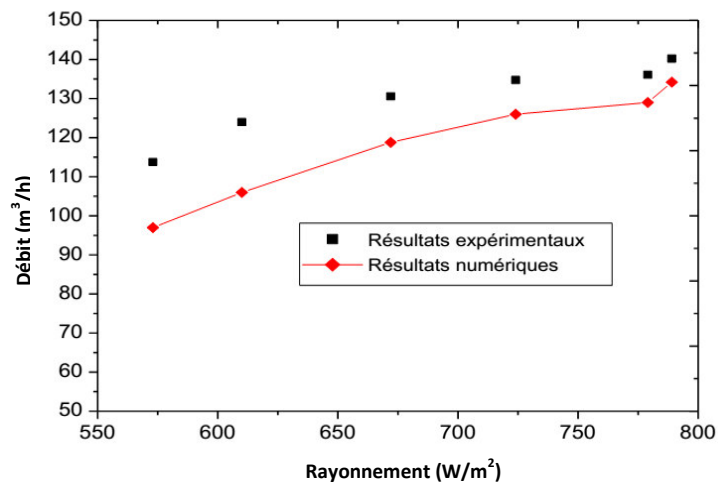


Figure 4.22 : Comparaison entre les résultats expérimentaux et de simulation ( $\alpha=45^\circ$  et  $e= 10$  cm).

## Chapitre 4. Étude numérique et expérimentale de la ventilation naturelle.

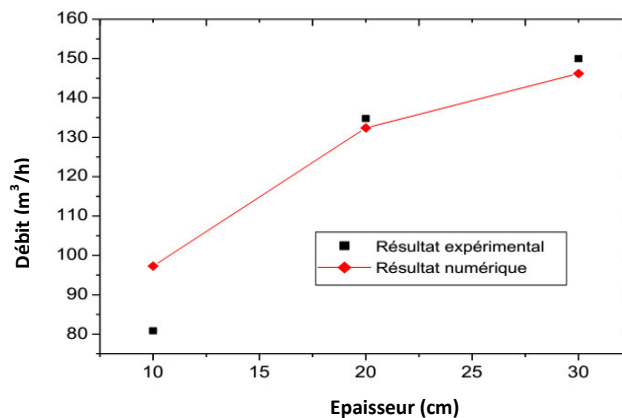
Les Figures 4.21 et 4.22 présentent la variation de débit volumique en fonction de l'intensité du rayonnement solaire. Les résultats montrent que le débit est fortement dépendant de l'intensité solaire. D'après les deux figures, on remarque que les deux courbes du débit volumique d'air mesuré et calculé ont la même allure ce qui illustre la validité du modèle numérique, en observant aussi un écart entre les courbes de deux sortes de résultats. Cet écart est dû à l'intermittence des conditions climatiques, tels que l'éclairement solaire ou la vitesse du vent.

L'écart entre les différents résultats est présenté dans le tableau suivant:

**Tableau.4.7:** Ecart entre les résultats expérimentaux et de simulation.

Rayonnement (W/m <sup>2</sup> )	Ecart %	Rayonnement (W/m <sup>2</sup> )	Ecart %
490	7.40	573	17.28
629	19.05	610	16.95
683	10.15	672	9.93
722	10.34	724	6.96
777	9.87	779	5.50
785	10.67	789	4.49

L'influence de l'épaisseur de la cheminée sur le débit volumique a été étudiée lors des essais expérimentaux et par simulation. Les résultats sont présentés sur la figure (4.23). Cette figure montre que les variations d'épaisseur de la lame d'air dans la cheminée ont provoqué une variation significative du débit. La courbe montre une concordance entre les deux sortes de résultats.



**Figure 4.23:** Débit volumique d'air en fonction de l'épaisseur de la veine d'air pour une inclinaison de 30° et un rayonnement de 460 W/m<sup>2</sup>.

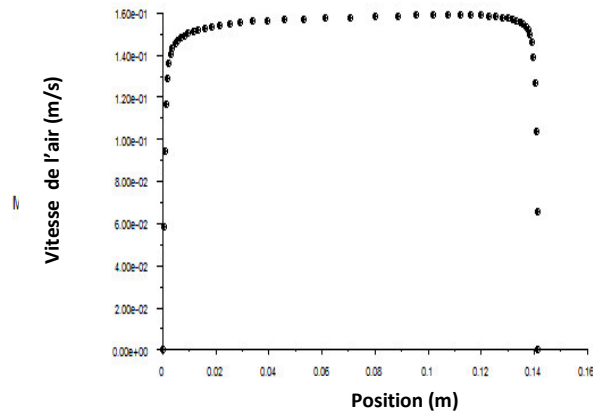


### c. Influence de l'épaisseur de la lame d'air

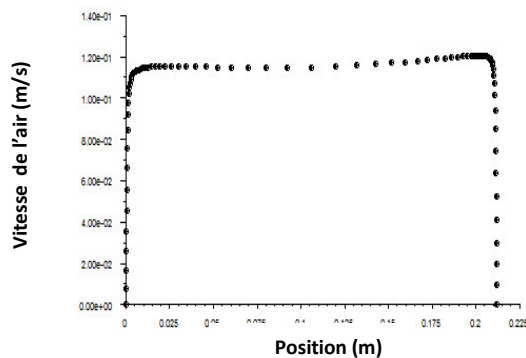
Dans ce qui suit, on présente les résultats relatifs à une expérience numérique correspond à une cheminée solaire avec une inclinaison de  $45^\circ$  et des épaisseurs variables de la lame d'air, en utilisant les paramètres suivants pour un écoulement turbulent d'un nombre de Rayleigh  $Ra = 2.85 \cdot 10^9$ .

### d. Profils de vitesse à l'entrée de la cheminée

Les profils de vitesse à l'entrée de la cheminée pour une inclinaison de  $45^\circ$  sont présentés sur les figures (4.24, 4.25) respectivement pour les épaisseurs de la lame d'air de 20 et 30 cm.



**Figure 4.24 :** Profil de vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée pour un angle d'inclinaison  $\alpha=45^\circ$  et une épaisseur de lame d'air  $e = 20\text{cm}$

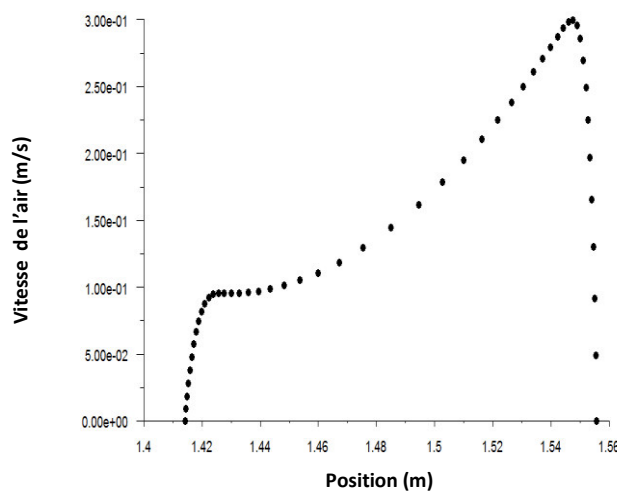


**Figure 4.25:** Profil de vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée pour un angle d'inclinaison  $\alpha=45^\circ$  et une épaisseur de lame d'air  $e = 30\text{cm}$

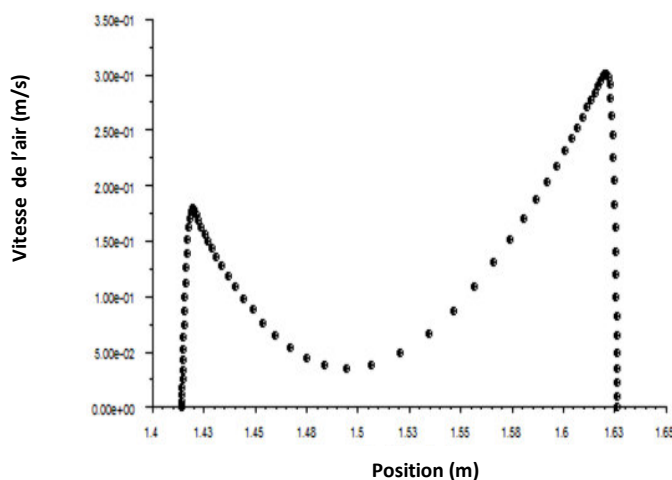
D'après les figures 4.24 et 4.25, on observe que le profil de vitesse s'est aplati sur le long de la section d'entrée de la cheminée, ce dernier est provoqué par la nature de l'écoulement qui est en régime turbulent. Les vitesses s'annulent sur les parois par effet d'adhérence (la condition à la limite imposée sur la paroi de vitre, et de l'absorbeur).

### e. Profils de vitesse à la sortie de la cheminée

Les figures 4.26, et 4.27 présentent les profils de vitesse à la sortie de la cheminée pour une inclinaison de  $45^\circ$  et les épaisseurs de la lame d'air respectivement égale à 20 et 30 cm.



**Figure 4.26:** Profil de vitesse de l'air à la sortie de la cheminée pour une épaisseur de lame d'air  $e=20\text{cm}$

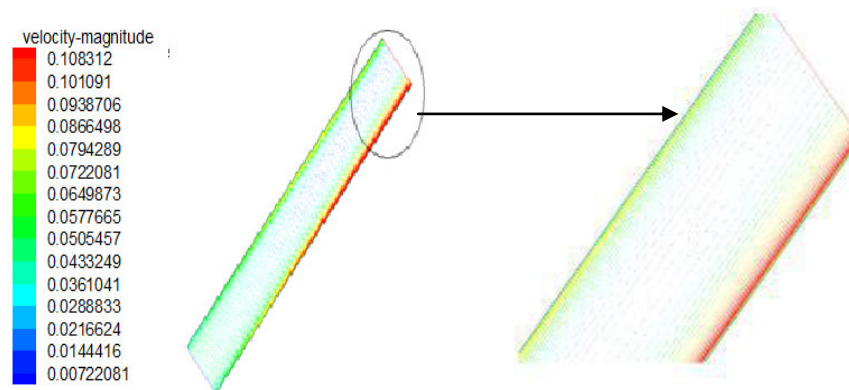


**Figure 4.27:** Profil de vitesse de l'air à la sortie de la cheminée pour une épaisseur de lame d'air  $e = 30\text{cm}$

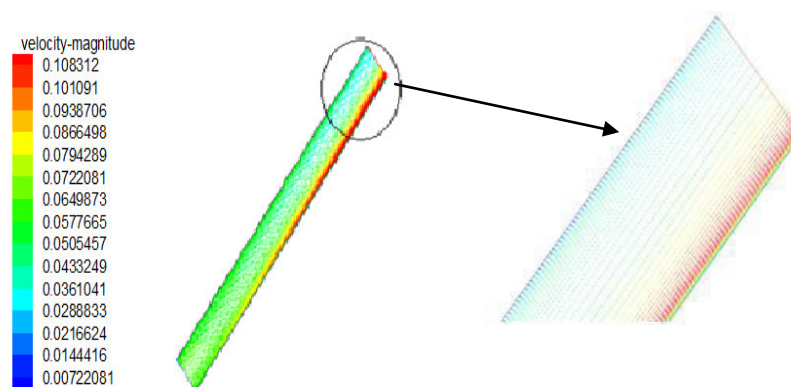
On remarque d'après les figures 4.26 et 4.27 que la vitesse maximale est très proche de la paroi chaude (absorbeur) et s'annule sur les parois (condition d'adhérence respectée). Cela est dû au fort gradient de température sur cette paroi, qui provoque à son tour le phénomène de la convection naturelle. En ce qui concerne la figure 4.26, nous remarquons une chute de la valeur de la vitesse de 0,035 m/s à 0,05 m/s comme valeur minimale, Ceci est dû à l'épaississement de l'épaisseur de lame d'air.

### f. Champ dynamique

Le champ dynamique est présenté dans les figures (4.28, 4.29 et 4.30) respectivement pour les épaisseurs de la lame d'air égale à 30, 20 et 10 cm, pour les mêmes conditions et les paramètres de l'expérience cités ci-dessus.



**Figure 4.28:** Champ dynamique pour une épaisseur de lame d'air  $e=30$ cm.



**Figure 4.29:** champ dynamique pour une épaisseur de lame d'air  $e=20$  cm.

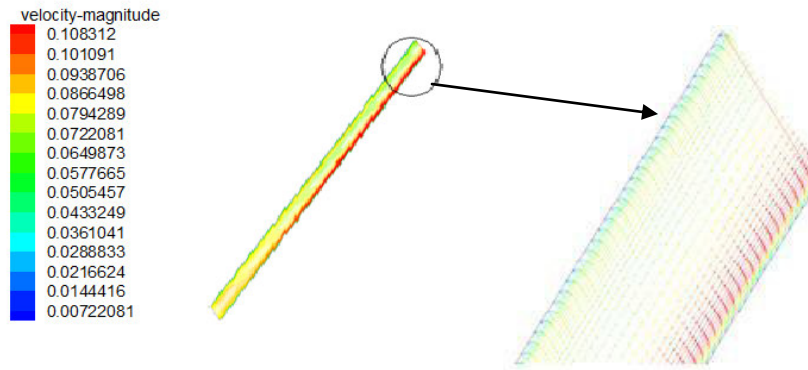


Figure 4.30 : Champ dynamique pour une épaisseur de lame d'air  $e=10$  cm.

D'après les figures 4.26, 4.27 et 4.28 on observe que les vitesses de l'air et le long de la paroi chaude (absorbeur) sont importantes et maximales sur une même section, et se diminuent lorsqu'on s'éloigne de cette paroi. Le transfert thermique entre la paroi et l'air dans la cheminée traduit par une diffusion de la chaleur entre les deux milieux, engendre un gradient fort de température dans cette zone. Les gradients de température ainsi créés au niveau du fluide se traduisent par des gradients de masse volumique qui provoquent une poussée verticale (poussée d'Archimède) générée par une dilatation locale du fluide.

**g. Champ thermique**

Les figures (4.31, 4.32, 4.33) représentent respectivement la distribution de la température dans la cheminée pour une inclinaison de  $45^\circ$  et une épaisseur de lame d'air respectivement égale à 30, 20 et 10 cm. La chaleur produite par le rayonnement solaire est située dans la cheminée et est transportée par le champ de vitesse vers le haut créée par une convection naturelle. Pour le même nombre de Rayleigh, l'intensité de la convection se diffère de l'épaisseur de la lame d'air. En effet, plus l'épaisseur diminue, plus vitesse diminue.

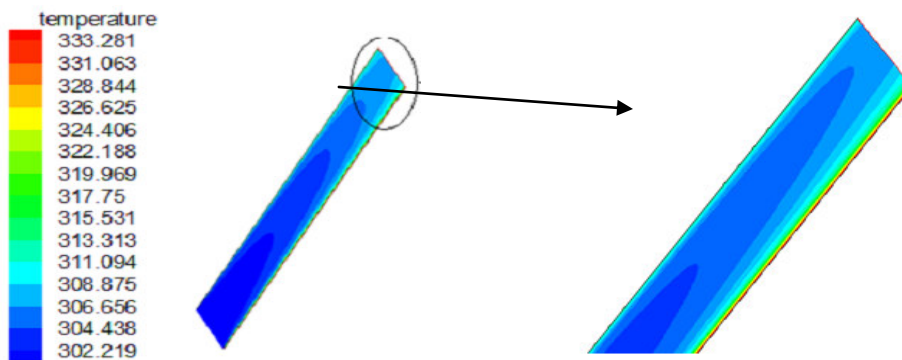
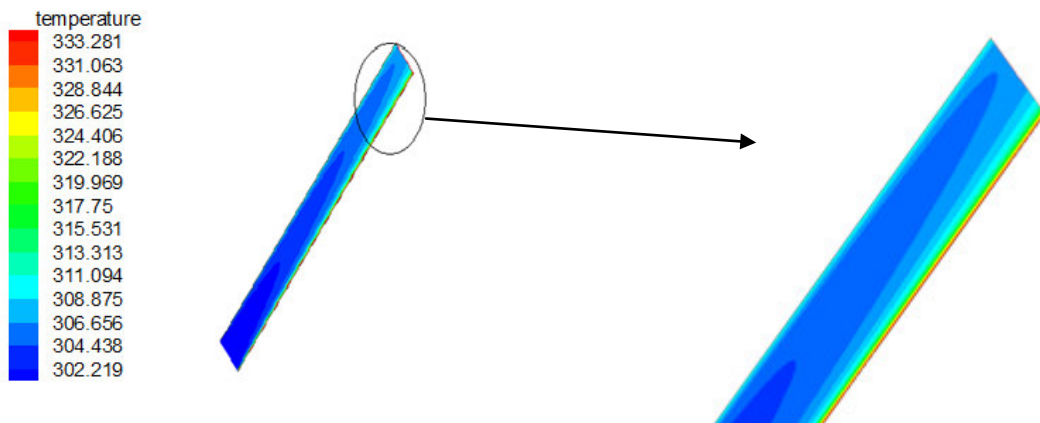
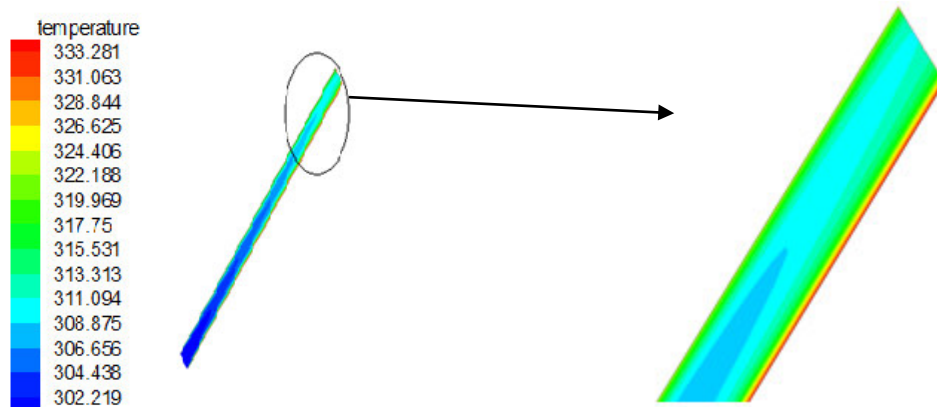


Figure 4.31: Champs thermique pour une épaisseur de lame d'air  $e=30$ cm.



**Figure 4.32:** Champs thermique pour une épaisseur de lame d'air  $e=20\text{cm}$ .



**Figure 4.33:** Champs thermique pour une épaisseur de lame d'air  $e=10\text{cm}$ .

### 4.2.13.2. Application de la cheminée sur la pièce :

#### a. Validation d'un modèle étudiée

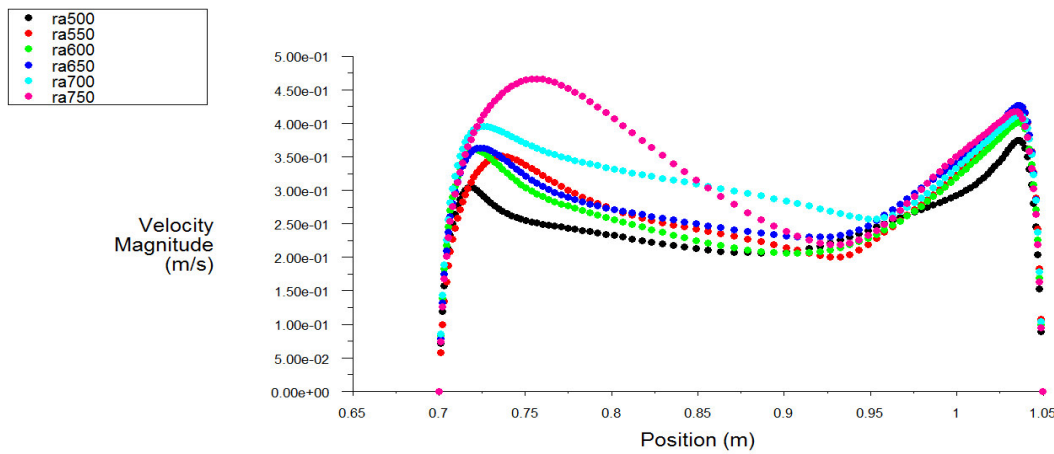
Le tableau ci-dessous présente les résultats théoriques et expérimentaux obtenus par Mathur et al, ainsi que ceux obtenus par le code de calcul Fluent, et ceci pour différentes intensités de rayonnement solaire.

**Tableau 4.8.:** Vitesse à la sortie de la cheminée et les différentes températures Correspondantes

Rayonnement solaire (W/m <sup>2</sup> )	Température ambiante (K)	Température de vitre (K)	Température d'absorbeur (K)	Vitesse de l'air à la sortie (m/s)		
				Expérimental Par Muthur	Numérique Par Muthur	Etude présente
500	299.2	314.30	329.04	0.174	0.1517	0.1688
550	302.6	317.36	340.65	0.184	0.1563	0.1762
600	306.0	326.02	346.28	0.1948	0.1613	0.1857
650	310.3	330.18	354.66	0.1979	0.1639	0.1950
700	312.2	333.51	358.49	0.2132	0.1724	0.2138
750	313.0	337.29	361.38	0.2201	0.1761	0.2282

**b. Le champ de la vitesse**

Le profil de la vitesse à mi-hauteur de la pièce pour les différentes intensités de rayonnement solaire est représenté sur la figure suivante.



**Figure .4.34:** Profils des vitesses à la sortie de la cheminée.

La figure (4.34) montre les valeurs maximales de la vitesse sont proportionnels avec le rayonnement solaire et leurs positions dans les parois de la pièce. Nous observons que le rayonnement solaire augmente la température du vitre et l'absorbeur est augmenté et ainsi augmenter la vitesse de sortie.

Ce ci est dû aux effets de deux phénomènes de convection naturelle et tirage thermique suivant la direction d'écoulement.

### c. Le champ de la vitesse de médian

Le profil de la vitesse à mi-hauteur de la pièce pour les différentes intensités de rayonnement solaire est représenté sur la figure suivante.

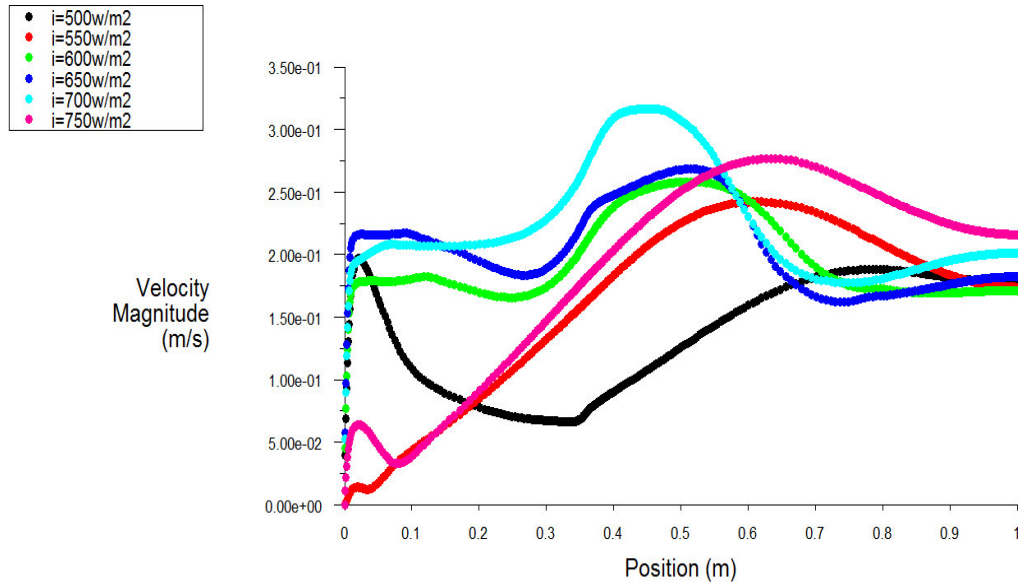


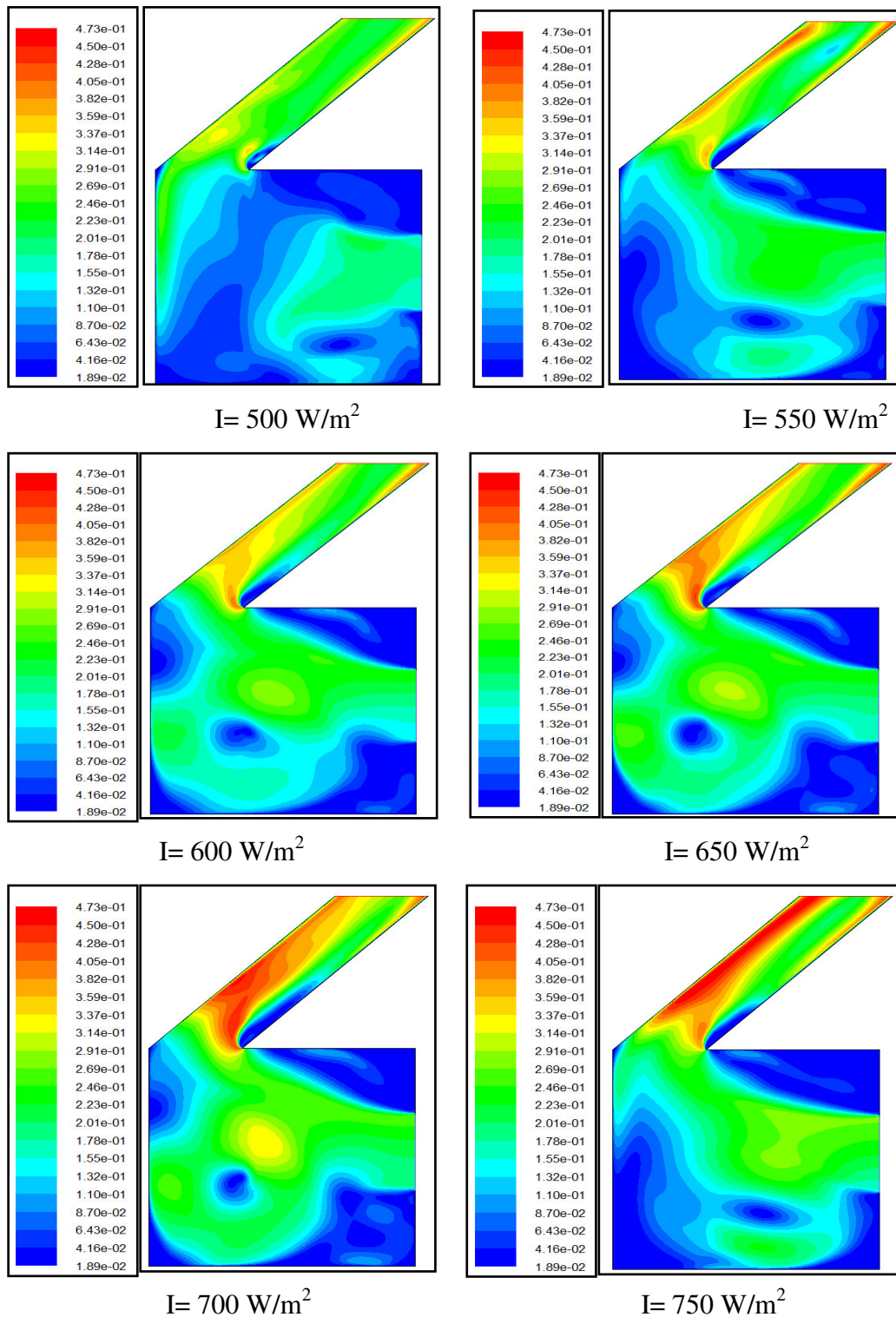
Figure .4.35: Profils de vitesses d'air à la zone de médian.

La figure représente les valeurs maximales de la vitesse sont proportionnelle au rayonnement solaire, on remarque que les valeurs maximales de la vitesse dans la zone médiane, sont relativement de l'effet de rayonnement solaire. La direction de la vitesse est proportionnelle à la direction de l'écoulement, et grâce aux forces d'attraction par la poussée d'Archimède au niveau de la cheminée.

Nous Remarquons que l'effet du rayonnement solaire sur la température dans la pièce conduit à une augmentation la vitesse de l'air, on observe une augmentation de la vitesse dans la partie inférieure de la cheminée.

Les parois de la pièce sont adiabatiques, donc le seul effet dominant est la convection naturelle au niveau de la cheminée solaire :





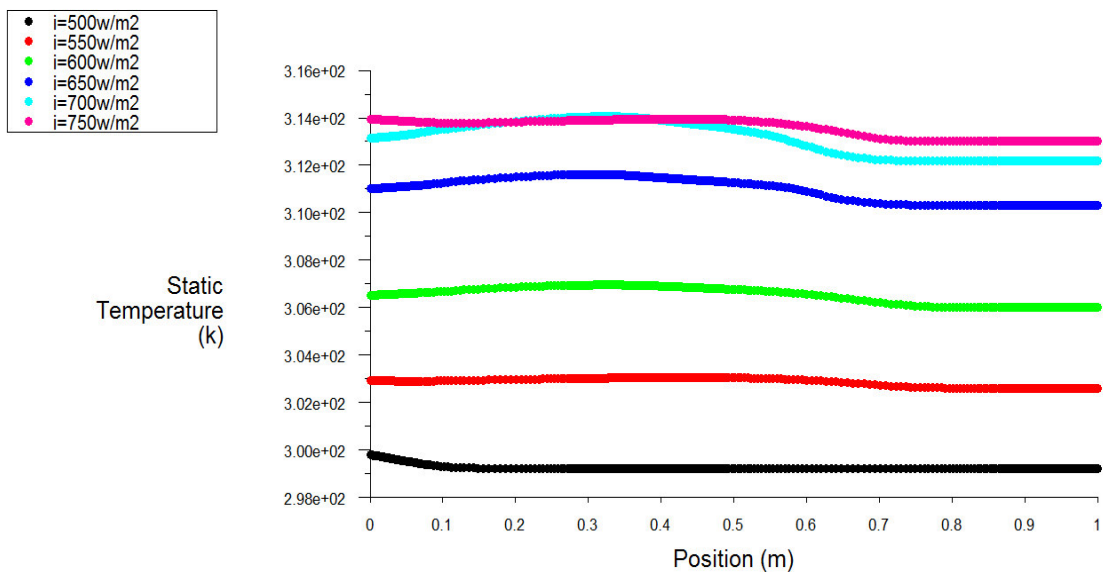
**Figure 4.36:** Ecoulements pour différentes intensités de rayonnement solaire

**d. Le champ thermique de médian**

Le niveau de mi-hauteur est choisi comme une zone de la visualisation des profils de température et de la vitesse pour différentes intensités de rayonnement solaire. Ce choix de zone est fait vu que c'est une zone de sensibilité du confort thermique consacrée aux



occupants de l'enceinte.



**Figure 4.37:** Profils de la température à la zone de médian

La figure représente les valeurs maximales de la température, qui sont proportionnelles au rayonnement solaire en fonction de la position dans la zone médiane. On observe que les profils de la température de l'air presque prennent la forme de lignes droites et une stabilité de la température de l'air parce que les parois adiabatiques, donc la température de l'air dans la pièce dépend uniquement de la température d'air entrée. L'augmentation de la température de l'air dans la zone médiane de la pièce correspond directement à l'augmentation de l'intensité de rayonnement solaire.

On observe sur la figure (4.37) que les profils ont la même allure. Ces résultats montrent une stabilité de la température de l'air dans la pièce. Ceci peut être expliqué par le fait que les parois sont adiabatiques, donc la température de l'air dans la pièce dépend uniquement de la température d'air à l'entrée de la pièce, qui est égale à la température ambiante. Les écarts de température observés pour les différents rayonnements solaires allant de 500 à 750 W/m<sup>2</sup> sont dus essentiellement aux températures ambiantes proposées comme conditions aux limites pour le domaine de calcul. Le champ de température au niveau de la cheminée est présenté comme suit :

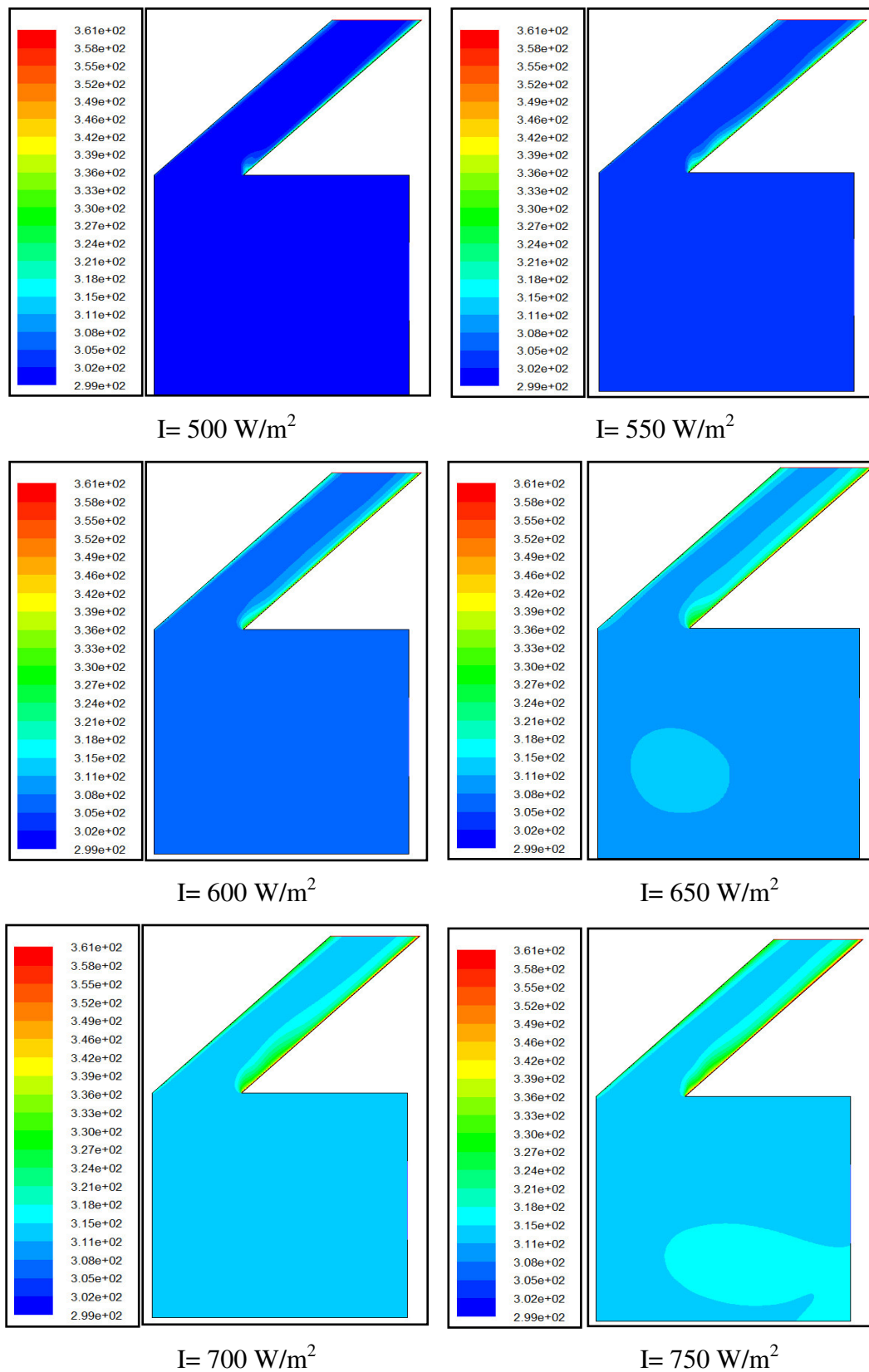
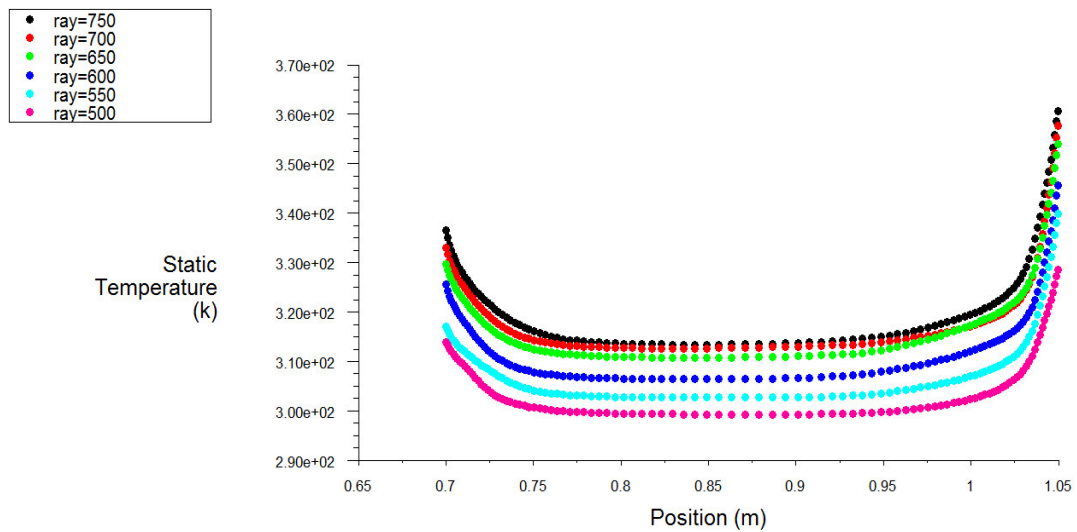


Figure .4.38: Ecoulements pour différentes intensités de rayonnement solaire.

**e. Les températures à la sortie de la cheminée**

La distribution des températures à la sortie de la cheminée est présentée sur la figure



**Figure 3.39:** Profils de la température à la sortie de la cheminée.

La figure représenté les valeurs maximales da la température sont proportionnelle au rayonnement solaire en fonction de la position à la sortie de la cheminée.

On observe que dans cette figure une stabilité de la température de l'air a la sortie de la cheminée .mais il y a une différence de la température entre le vitre et l'absorbeur. On observe que température d'absorbeur supérieur a la température de vitre

**f. Evolution d'ACH**

Le taux de renouvellement d'air ACH pour une pièce de volume 27 m<sup>3</sup> et les débits volumiques d'air sortant de la cheminée sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau .4.9:** Effet du rayonnement sur le taux de renouvellement d'air

Rayonnement solaire (W /m <sup>2</sup> )	Débit à la sortie (m <sup>3</sup> /s)	ACH
500	0.060595	08.070
550	0.062191	08.290
600	0.064632	08.617
650	0.068505	09.130
700	0.074470	09.920
750	0.077152	10.280

D'après le tableau (4.9) on constate que le taux de ventilation ACH dépend du rayonnement solaire. L'augmentation de ce dernier provoque une élévation de la température au niveau de

l'absorbeur, ainsi que la vitesse d'écoulement, donc on observe l'augmentation débit volumique a à la sortie

### 4.3. L'Echangeur air-sol

L'objectif de cette partie est d'évaluer notre modèle d'échangeur air-sol, cette évaluation est présentée sous deux aspects. D'abord, une validation du modèle est réalisée à partir de la confrontation de nos résultats de simulation avec les essais expérimentaux du laboratoire de Biskra. (Hatraf N, 2010) Ensuite, une analyse d'influence des différents paramètres (longueur du puits, diamètre de la conduite, débit d'air et profondeur du puits) sur la performance de l'échangeur air-sol, cela permet de dimensionner un modèle physique propre aux conditions climatiques de la ville d'Ouargla.

L'étude de notre problème implique la résolution d'un système d'équations mathématiques aux dérivées partielles. Cela nécessite une approche par une voie numérique. Nous avons optée dans cette étude pour l'utilisation du code de calcul FLUENT comme solveur, et le GAMBIT pour la description géométrique

#### 4.3.1. Présentation expérimentale du cas étudié

Afin de valider notre modèle d'échangeur air-sol, on fait rappel aux résultats expérimentaux réalisés dans le cadre du projet pilote effectué par le laboratoire Génie Mécanique de l'Université de Biskra.

Les essais expérimentaux correspondent à un réseau de quatre tronçons d'une longueur totale d'environ 60 m. Le diamètre interne du tube est de 110 mm. L'ensemble est placé à une profondeur de 3 m sous une pente de 2 %.

Pour le site de Biskra, cette profondeur (3 m a été déterminée préalablement grâce à une étude effectuée en fonction des données locales du site). Les tubes sont disposés et espacés les uns des autres d'une distance entre axes de 2 m.

Une fosse de réception en béton est construite à la sortie de l'échangeur. Un extracteur d'air de débit variable est placé à l'entrée de l'échangeur. Une série de sondes thermiques a été placées au long de l'échangeur de l'entrée jusqu'à la sortie. Les sondes sont reliées à une centrale d'acquisition. Les tests sont effectués le 28 juin 2009.

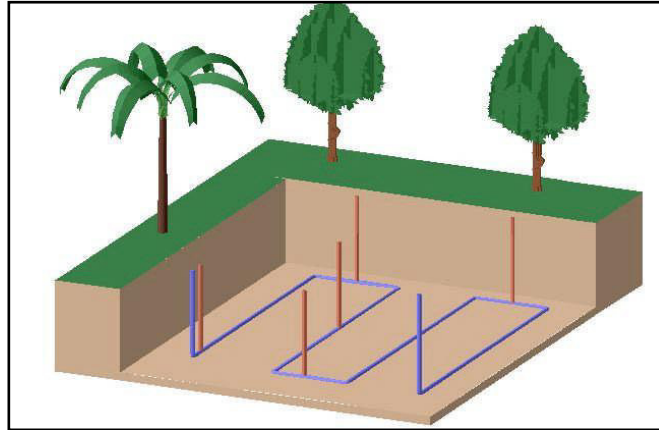


Figure 4.40 : Disposition de l'échangeur air-sol. (CETIAT, 2008)

#### 4.3.2. Le modèle physique:

Le domaine d'étude est représenté par la figure (4.41) qui est un échangeur air-sol de type : tubes en méandres. Notre modèle garde en premier lieu les mêmes dimensions de celle utilisé dans l'étude expérimentale du site de Biskra pour un but de validation ; ensuite on va procéder au changement de la longueur totale ( $L$ ), le diamètre ( $D$ ) et la distance ( $H$ ), afin d'évaluer l'influence de ces dimensions sur la performance de l'échangeur.

L'air entre dans la conduite avec une vitesse  $V_0$  et à une température uniforme en moyenne,  $T_e$ .

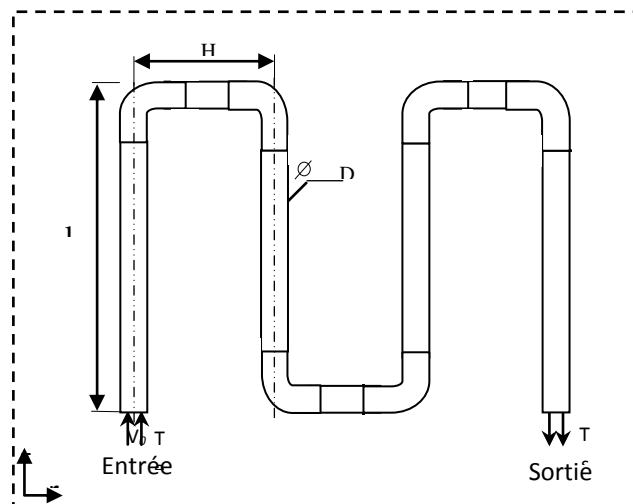


Figure 4.41 : Le modèle physique de l'échangeur air-sol.

#### 4.3.3. Les hypothèses:

Les hypothèses considérées dans la formulation mathématique sont basées sur :

- Le sol est considéré homogène ;

- On suppose une température uniforme au long du périmètre de la surface de conduite (Pas d'influence de l'échange sur la température du sol) ;
- La température de l'air en entrée d'échangeur correspond à la température de l'air extérieur ;
- On néglige dans cette étude les échanges thermiques latents (évaporation ou condensation d'eau).
- Le fluide est supposé visqueux et newtonien ;
- Les forces de pesanteur sont négligées ;
- L'écoulement incompressible ( $M < 0.3$ ) ;
- L'écoulement en régime stationnaire, ( $\frac{\partial}{\partial t} = 0$ ) ;
- Les propriétés thermo-physiques ( $\rho, \nu, k, c_p, \dots$ ) de l'air et du sol sont supposées constantes.

### 4.3.4. Les équations régissantes

L'écoulement de l'air dans le puits est régi par des équations de base exprimant en coordonnées cylindriques, qui sont respectivement l'équation de continuité, les équations de Navier-Stokes et l'équation de l'énergie.

#### 4.3.4.1.Équation de continuité

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(ru)}{\partial r} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4.26)$$

#### 4.3.4.2.Équation de conservation de quantité de mouvement

- *Suivant l'axe or :*

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(ru^2)}{\partial r} + \frac{\partial(uw)}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\mu}{\rho} \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] - \frac{2\mu u}{r^2 \rho} \quad (4.27)$$

- *Suivant l'axe oz :*

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(ru w)}{\partial r} + \frac{\partial w^2}{\partial z^2} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\mu}{\rho} \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial w}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] \quad (4.28)$$

#### 4.3.4.3.Équation de conservation de l'énergie

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(ruT)}{\partial r} + \frac{\partial(wT)}{\partial z} = \alpha \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + \Phi \quad (4.29)$$

Avec :

$\Phi$  : La dissipation visqueuse, représente une source interne de chaleur correspondant à la dégradation de l'énergie mécanique en chaleur.

Dans les coordonnées cylindriques :

$$\Phi = 2\mu \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial r} \right)^2 + \left( \frac{u}{r} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] + \mu \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r} \right)^2 \quad (4.30)$$

$\alpha$  : est la diffusivité thermique de l'air en (m<sup>2</sup>/s).

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p}$$

L'équation de transport dans les coordonnées cylindriques s'écrit sous la forme générale pour une grandeur générique  $\phi$  :

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(r\rho u\phi)}{\partial r} + \frac{\partial(\rho w\phi)}{\partial z} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \Gamma \phi \frac{\partial \phi}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \Gamma \phi \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) + S\phi + P\phi \quad (4.31)$$

#### 4.3.4.4. Tableau récapitulatif des principales lois de conservation

Le tableau ci-dessous résume les principales lois de conservation générales, sous forme eulérienne, utiles pour résoudre les problèmes posés par la mécanique des milieux continus.

**Tableau .4.10** : Expression des grandeurs  $\phi, \Gamma\phi, P\phi$  et  $S\phi$  de l'équation générale de transport.

Equation de	$\phi$	$\Gamma\phi$	$P\phi$	$S\phi$
Continuité	1	0	0	0
Quantité de mouvement suivant l'axe Or	$U$	$\mu$	$-\frac{\partial p}{\partial r}$	$-\frac{2\mu u}{r^2}$
Quantité de mouvement suivant l'axe Oz	$W$	$\mu$	$-\frac{\partial p}{\partial z}$	0
Energie	$T$	$\frac{k}{c_p}$	$\Phi$	0

**4.3.4.5. Forme adimensionnel des équations**

Pour permettre le passage d'une échelle de grandeur à une autre, il est nécessaire de définir des variables réduites. Le système des variables réduites permet d'approcher à la réalité physique car leur existence et leur déroulement sont indépendants du système d'unité choisi. Ce changement des variables nécessite l'introduction des quantités de caractéristiques propres à l'écoulement.

Les échelles caractéristiques utilisées pour le passage dimensionnel à l'adimensionnel sont les suivantes :

- Constante de vitesse :  $V_0$
- Constante de longueur :  $D_0 = \frac{4 S}{P}$
- Constante de pression :  $P_0 = \rho V_0^2$
- Constant de température :  $T_0 = \frac{T - T_e}{T_{sol} - T_e}$

Les variables adimensionnelles sont donc :

$$u^* = \frac{u}{V_0}, w^* = \frac{w}{V_0}, p^* = \frac{p}{\rho V_0^2}, z^* = \frac{z}{D_0}, r^* = \frac{r}{D_0}$$

On introduit les grandeurs adimensionnelles, on obtient les équations sous forme adimensionnelles suivantes :

**a. Équation de continuité**

$$\frac{1}{r^*} \frac{\partial(r^* u^*)}{\partial r^*} + \frac{\partial w^*}{\partial z^*} = 0 \tag{4.32}$$

**b. Équation de conservation de quantité de mouvement**

Suivant l'axe or :

$$\frac{1}{r^*} \frac{\partial(r^* u^{*2})}{\partial r^*} + \frac{\partial(u^* w^*)}{\partial z^*} = -\frac{\partial p^*}{\partial r^*} + \frac{1}{Re} \left[ \frac{1}{r^*} \frac{\partial}{\partial r^*} \left( r^* \frac{\partial u^*}{\partial r^*} \right) + \frac{\partial^2 u^*}{\partial z^{*2}} \right] - \frac{2 u^*}{r^{*2} Re} \tag{4.33}$$

Suivant l'axe oz :

$$\frac{1}{r^*} \frac{\partial(r^* u^* w^*)}{\partial r^*} + \frac{\partial w^{*2}}{\partial z^*} = -\frac{\partial p^*}{\partial z^*} + \frac{1}{Re} \left[ \frac{1}{r^*} \frac{\partial}{\partial r^*} \left( r^* \frac{\partial w^*}{\partial r^*} \right) + \frac{\partial^2 w^*}{\partial z^{*2}} \right] \tag{4.34}$$



### c. Équation de conservation de l'énergie

$$u^* \frac{\partial T^*}{\partial r^*} + w^* \frac{\partial T^*}{\partial z^*} = \frac{1}{Pe} \left[ \frac{1}{r^*} \frac{\partial}{\partial r^*} \left( r^* \frac{\partial T^*}{\partial r^*} \right) + \frac{\partial^2 T^*}{\partial z^{*2}} \right] + \frac{1}{Pr} \Phi^* \quad (4.35)$$

#### 4.3.4. Les nombres adimensionnels

Les solutions sont alors fonction des paramètres sans dimension :

- **Le nombre de Reynolds (Re)**

Caractérise le régime de l'écoulement (laminaire, turbulent ou mixte). Il est défini comme le rapport entre les forces d'inertie et les forces visqueuses.

$$Re = \frac{\rho V_0 D_0}{\mu}$$

On écrit aussi le nombre de Reynolds avec la viscosité cinématique :

$$Re = \frac{V_0 D_0}{\nu}$$

- **Le nombre de Péclet (Pe)**

$$Pe = \frac{\rho c_p V_0 D_0}{k}$$

- **Le nombre de Prandtl (Pr)**

Caractérise le comportement thermique du fluide. Il est défini comme le rapport de la viscosité cinématique du fluide avec sa diffusivité thermique :

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu c_p}{k}$$

- **Nombre de Nusselt (Nu)**

Caractérise l'efficacité du transport thermique convectif par rapport à ce que serait le seul transport conductif dans le fluide, il est donné par la relation :

$$Nu = \frac{h D_0}{k}$$

$h$  : le coefficient d'échange par convection.

Le flux thermique échangé  $\varphi$  à travers la paroi du tube est égale :

$$\varphi = h(T_{sol} - T_s) S \quad (4.36)$$

$S = \pi.D.L$  : La surface d'échange.

Donc :

$$Nu = \frac{\varphi}{k \pi (T_{sol} - T_s) L} \quad (4.37)$$

Il est difficile d'obtenir un écoulement laminaire dans la plage de débit et de diamètre que nous les considérons dans cette étude ; nous considérerons donc que un écoulement turbulent pour la suite des équations de conservations.

### 4.3.5. Les modèles de turbulence

Il existe différents niveaux de modèles, se distinguent par leur degré de complexité, c'est-à-dire par le nombre d'équations de transport supplémentaires introduites pour les quantités turbulentes pour résoudre le problème : on cite ainsi le modèle de turbulence à zéro, une ou deux équations. Les modèles de turbulence les plus utilisés à l'heure actuelle dans les codes CFD sont les modèles à deux équations et plus particulièrement le modèle de turbulence k- $\epsilon$  standard qui est le plus répandu.

Trois modèles de turbulence sont disponibles dans le code Fluent :

- Le modèle k- $\epsilon$  standard,
- Le modèle RSM,
- Le modèle RNG k- $\epsilon$ .

#### a. Modèle k- $\epsilon$

Dans cette étude on a utilisé le modèle k- $\epsilon$  standard, car il est un modèle semi empirique basé sur les équations de transport de l'énergie cinétique turbulente k et de sa dissipation  $\epsilon$ . Dans le modèle k- $\epsilon$  la viscosité turbulente est exprimée en fonction de k et  $\epsilon$  par la formule suivante :

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{K^2}{\epsilon} \quad (4.38)$$

Où :  $\varepsilon$  appelé **taux de dissipation** de l'énergie cinétique turbulente.

$C_\mu$  : est une constante, dont sa valeur est égale à 0.09.

Les équations gouvernantes dans le régime turbulent sont toujours les équations de Navier Stokes, l'équation de continuité et l'équation d'énergie, en ajoutant deux équations de transport dites équations de fermeture du modèle  $k - \varepsilon$  standard. (Gahgah M, 2008)

**b. L'équation de conservation de la masse**

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(ru)}{\partial r} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4.39)$$

**c. L'équation de conservation de la quantité de mouvement**

Suivant l'axe  $or$  :

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(ru^2)}{\partial r} + \frac{\partial(uw)}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{1}{\rho} \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( (\mu_t + \mu) r \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( (\mu_t + \mu) r \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] - \frac{2(\mu_t + \mu) u}{r^2 \rho} \quad (4.40)$$

Suivant l'axe  $oz$  :

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(ruw)}{\partial r} + \frac{\partial w^2}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( (\mu_t + \mu) r \frac{\partial w}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( (\mu_t + \mu) r \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right] \quad (4.41)$$

**d. Equation de conservation de l'énergie**

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(r\rho u T)}{\partial r} + \frac{\partial(\rho w T)}{\partial z} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r c_p \left( \frac{\mu_t}{Pr_t} + \frac{\mu}{Pr} \right) \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( c_p \left( \frac{\mu_t}{Pr_t} + \frac{\mu}{Pr} \right) \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \Phi \quad (4.42)$$

Où  $Pr_t$  est un nouveau paramètre appelé : *nombre de Prandtl turbulent*.

**e. Equation de l'énergie cinétique turbulente**

$$\frac{1}{r} \left[ \frac{\partial(r\rho u k)}{\partial r} + \frac{\partial(r\rho w k)}{\partial z} \right] = \frac{1}{r} \left[ \frac{\partial}{\partial r} \left( r \left( \frac{\mu_t}{\sigma_k} + \mu \right) \frac{\partial k}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( r \left( \frac{\mu_t}{\sigma_k} + \mu \right) \frac{\partial k}{\partial z} \right) \right] + Pk - \rho\varepsilon \quad (4.43)$$

**f. Equation du taux de dissipation**

$$\begin{aligned} & \frac{1}{r} \left[ \frac{\partial(r\rho u \varepsilon)}{\partial r} + \frac{\partial(r\rho w \varepsilon)}{\partial z} \right] \\ & = \frac{1}{r} \left[ \frac{\partial}{\partial r} \left( r \left( \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} + \mu \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( r \left( \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} + \mu \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) \right] + C_{\varepsilon 1} + \frac{\varepsilon}{k} PK - C_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{K} \end{aligned} \quad (4.44)$$

Avec :

$$PK = (\mu_t + \mu) \left[ 2 \left( \frac{\partial u}{\partial r} \right)^2 + \left( \frac{u}{r} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] + (\mu_t + \mu) \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r} \right)^2 \quad (4.45)$$

En générale, pour des écoulements turbulents libres, à haut nombre de Reynolds, les valeurs des diverses constantes de ce modèle sont :

$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 2}$	$C_\mu$	$\sigma_k$	$\sigma_\varepsilon$
1.44	1.92	0.09	1.00	1.3

#### 4.3.6. Les conditions aux limites

- **Condition d'entrée :** On va prendre la condition d'entrée suivante : (Dirichlet)

$$\begin{aligned} T &= T_e \\ w &= V_0 \\ u &= 0 \end{aligned}$$

- **Condition de sortie :** La condition de sortie est de type Newman :

$$\frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

- **Condition aux parois solides :** La condition des vitesses nulles est imposée aux parois solides où la température est connue sur les parois dont elle est égale à la température

de sol  $T_{sol}$ .

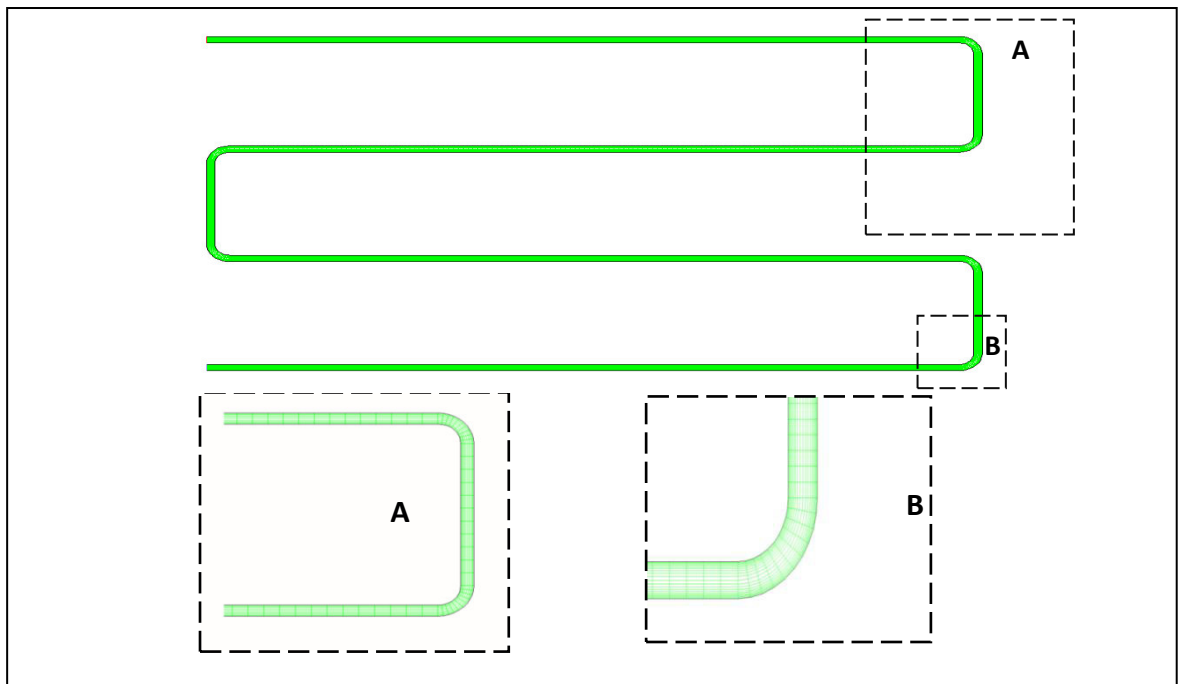
$$\begin{aligned} T &= T_{sol} \\ w &= 0 \\ u &= 0 \end{aligned}$$

#### 4.3.7. Choix du maillage

Dans tous les problèmes des méthodes numériques, le maillage a une influence directe sur les résultats, Il est important que le maillage soit resserré dans toutes les zones où les variables présentent de forts gradients, en particulier au voisinage des parois. Afin de choisir un maillage optimal pour obtenir des résultats numériques acceptables, on fait varier le

nombre de nœuds trois fois et à travers une comparaison entre les trois maillages basée sur le principe de la conservation de la masse, et plus précisément sur le fait que l'erreur relative de la différence entre le débit massique entrant et sortant de l'échangeur est choisie comme critère d'optimisation.

Le maillage adopté dans cette étude est un maillage structuré non uniforme avec un raffinement de grille au niveau des zones près des parois.



**Figure 4.42 :** Le maillage utilisé pour l'échangeur air-sol.

Le tableau ci-dessous représente l'erreur relative de débit massique de l'air entrant et sortant en fonction du nombre de nœuds  $N$ , pour un débit volumique  $Q_v=130 \text{ m}^3/\text{h}$ , une longueur  $L= 46 \text{ m}$  et un diamètre  $D = 0.110 \text{ m}$ .

Il est bien remarquable que le maillage à  $N= 2871$  donne le minimum d'erreur relative et l'optimum de maillage.

**Tableau 4.11 :** Erreur relative en fonction du nombre des nœuds.

Nombre des nœuds $N$	Nombre d'itération	Erreur relative de débit massique de l'air entrant et sortant (%)
2871	380	$2.16 \cdot 10^{-14}$
7350	592	$1.71 \cdot 10^{-12}$
15771	753	$2.64 \cdot 10^{-12}$

### 4.3.8. Résultats et discussions

Dans cette section, nous présentons les résultats de la simulation numérique obtenues par le code FLUENT ; en considérant les propriétés thermo-physiques de l'air suivantes :

- La masse volumique :  $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$
- La capacité calorifique :  $C_p = 1006.43 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$
- La conductivité thermique :  $k = 0.0242 \text{ W/m} \cdot \text{K}$
- La viscosité dynamique :  $\mu = 1.7894001e^{-05} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$

#### 4.3.8.1. La validation du modèle échangeur air-sol

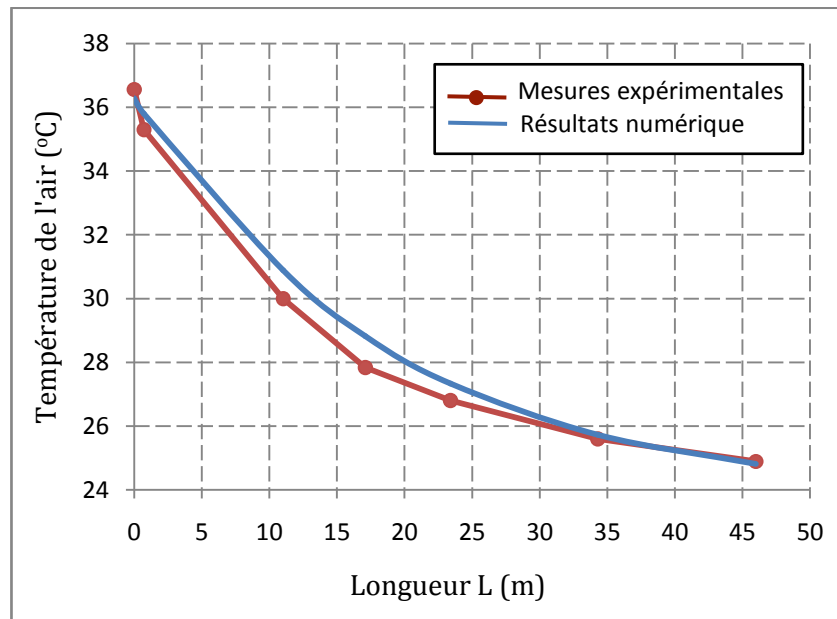
Dans la première étape, on va tester la validation du modèle échangeur air-sol, nous procédons à une comparaison, en termes de l'évolution de la température de l'air dans l'échangeur, entre nos résultats et les résultats expérimentaux pour des différents débits volumiques :

1.  $Q_v = 130 \text{ m}^3/\text{h} \Rightarrow V_e = 3.8 \text{ m/s}$
2.  $Q_v = 135.65 \text{ m}^3/\text{h} \Rightarrow V_e = 3.96 \text{ m/s}$
3.  $Q_v = 155.43 \text{ m}^3/\text{h} \Rightarrow V_e = 4.54 \text{ m/s}$

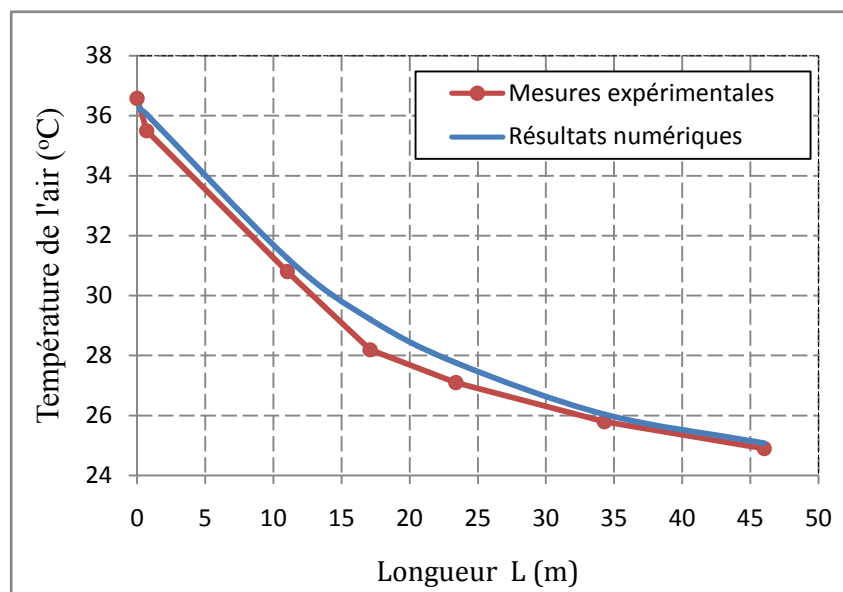
Les températures mesurées au cours des essais expérimentaux sont introduites comme des données d'entrées de calcul :

- Une température à l'entrée de l'échangeur  $T_e = 36,572^\circ\text{C}$
- Une température de sol  $T_{\text{sol}} = 24^\circ\text{C}$

Les figures (4.43 et 4.44) représentent une comparaison entre les résultats numériques et les résultats expérimentaux en termes de l'évolution de la température de l'air au cours de la longueur de l'échangeur pour le deux débits volumiques.



**Figure 4.43 :** Variation de la température de l'air le long de l'échangeur pour  $Q_v=130 \text{ m}^3/\text{h}$ .



**Figure 4.44 :** Variation de la température de l'air le long de l'échangeur pour  $Q_v=155.43 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Les résultats obtenus par simulation montrent un bon accord avec les résultats expérimentaux, l'écart relatif maximal dans tous les points n'atteint pas 3.5 % ce qui correspond à 1 °C. Donc, le modèle de l'échangeur air-sol proposé et les hypothèses considérées ont fourni des résultats validés par rapport à celles mesurés.

### 4.3.8.2. Dimensionnement de l'échangeur air-sol pour la région de Ouargla

Dans cette section notre affaire est de sélectionner les dimensions optimales d'un échangeur conçus de rafraichir le climat de Ouargla en été ; pour cela, on est opter pour les paramètres d'entrée suivantes :

Dans cette section, notre travail consiste à choisir les dimensions optimales de l'échangeur air-sol. Le rôle d'un échangeur air-sol est de refroidir un bâtiment soumis au climat de Ouargla en été, pour cela nous choisissons les paramètres d'entrée suivants:

#### a. Les températures d'entrée

Nous avons procédés à une campagne de mesure de la température de sol pour des différentes profondeurs et la température extérieure à l'aide d'un thermocouple de type CA 1051 en 26 mai 2011, à Sidi Khouiled.

Les températures mesurées ont été utilisées comme des données d'entrée pour le modèle de simulation.

**Tableau 4.12 :** Mesure des températures de sol et de la température ambiante pendant la journée.

Profondeur [m]	Temps								T moy
	9:00	10:00	11:00	12:00	14:00	18:00	19:00	20:00	
1.0	23.3	23.0	23.1	23.2	25.0	25.1	24.2	24.4	24.0
1.5	22.5	22.1	22.4	22.3	23.8	23.8	23.2	23.7	23.0
2.0	21.5	21.6	21.8	21.5	22.3	23.5	23.7	23.9	22.5
2.5	20.7	21.1	20.5	20.8	21.0	22.3	22.7	22.7	21.5
Température ambiante	28.7	29.4	29.6	28.6	33.1	30.5	29.2	27.3	30.02

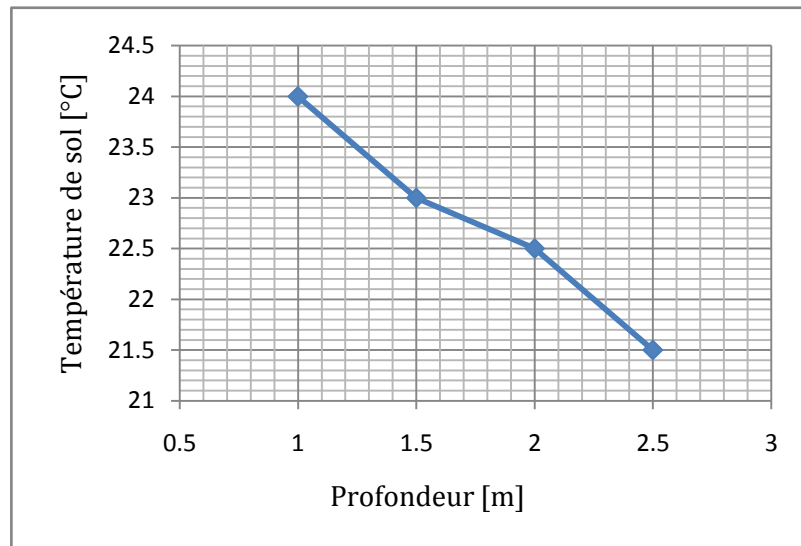
On remarque que :

- Pendant toute la journée, la température de sol reste presque constante, le cas contraire pour la température ambiante.
- La température de sol moyenne ( $T_{\text{moy}}$ ) décroît, progressivement, avec la profondeur ; presque 1°C pour chaque 0.5 m.



- À 14h, un écart important (environ 12°C) entre la température ambiante et la température de sol mesuré à 2.5m de profondeur.

La Figures (4.44) présente la variation de la température moyenne de sol en fonction de la profondeur. Les résultats montrent que la température de sol diminue lorsque on la s'éloigne de la surface du sol.



**Figure 4.45 :** La température de sol en fonction de la profondeur.

Le dimensionnement de l'échangeur air-sol se base sur l'optimisation des quatre paramètres suivants : longueur, diamètre, profondeur d'enfouissement et débit de ventilation. Pour chaque paramètre, on a essayé trois ou quatre valeurs, afin d'arriver aux choix pour une performance optimale.

1. Longueur du puits : 25, 35 et 45 m ;
2. Diamètre de la conduite : 125, 160, 200 et 250 mm ;
3. Profondeur du puits : 1, 1.5, 2 et 2.5 m ;
4. Débit d'air : pour les volumes à ventiler suivants (250, 400 et 600 m<sup>3</sup>) et avec un taux de renouvellement d'air standard de 0.5 vol /h, les débits d'air sera respectivement 125, 200 et 300 m<sup>3</sup>/h.

### b. Régime d'écoulement étudié

Le tableau (4.13) détermine le nombre de Reynolds (Re) pour chaque débit d'air, et diamètre de conduite choisi auparavant, on observe que le nombre de Reynolds est toujours supérieur à  $4 \times 10^4$  donc le régime d'écoulement étudiée est un régime turbulent.

**Tableau 4.13 :** Nombre de Reynolds en fonction de débit volumique et le diamètre.

Débit volumique $Q_v$ [m <sup>3</sup> /h]	Diamètre D [m]	La vitesse $V_e$ [m/s]	Nombre de Reynolds Re
125	0.125	2.83	24217.26
	0.160	1.73	18949.37
	0.200	1.1	15060.91
	0.250	0.7	11980.27
200	0.125	4.52	38679.16
	0.160	2.76	30231.36
	0.200	1.77	24234.38
	0.250	1.13	19339.58
300	0.125	6.79	58104.32
	0.160	4.15	45456.58
	0.200	2.65	36283.11
	0.250	1.7	29094.95

### c. Flux thermique échangée

Nous avons calculé le flux de chaleur échangé entre l'air entrant et les parois de la gaine pour les différentes longueurs, diamètres, profondeurs et débits volumiques.

Tableau 4.14 : Calcul du flux de chaleur échangé  $\phi$  en [ W ].

Z [m]	D [m]	$Q_v = 125 \text{ [m}^3/\text{h]}$			200 [m <sup>3</sup> /h]			300 [m <sup>3</sup> /h]		
		L= 25	35	45	25	35	45	25	35	45
1.0	0.125	1992	2239	2392	2998	3432	3709	4289	4970	5422
	0.160	1479	1671	1805	2200	2530	2765	3122	3632	4010
	0.200	1210	1353	1454	1706	1949	2139	2392	2762	3061
	0.250	1049	1146	1212	1495	1676	1814	1976	2260	2493
1.5	0.125	2323	2612	2790	3498	4004	4348	5004	5798	6325
	0.160	1725	1950	2106	2567	2952	3226	3642	4238	4678
	0.200	1411	1579	1697	1990	2274	2496	2791	3222	3571
	0.250	1224	1338	1414	1745	1956	2116	2306	2637	2908
2.0	0.125	2489	2798	2990	3748	4290	4636	5361	6212	6777
	0.160	1848	2089	2256	2750	3163	3457	3902	4540	5012
	0.200	1512	1692	1818	2132	2436	2674	2990	3452	3826
	0.250	1311	1433	1515	1869	2096	2267	2470	2825	3116
2.5	0.125	2820	3171	3388	4247	4862	5255	6076	7041	7681
	0.160	2094	2368	2557	3117	3585	3918	4422	5146	5681
	0.200	1713	1917	2061	2417	2761	3030	3389	3912	4336
	0.250	1486	1624	1717	2119	2375	2570	2800	3202	3531

On remarque que :

- Le flux thermique échangé sur les parois de tuyère augmente avec le débit volumique de l'air. Flux thermique échangée est maximum quand la vitesse de l'air est maximum, en effet pour arracher le plus possible de calories d'un échangeur, il faut augmenter la vitesse de l'air car cela réduit la couche d'air immobile au contact des parois et améliore le coefficient d'échange thermique superficiel.

- Le flux thermique échangé sur les parois augmente avec la longueur de tuyère, cela dû à l'augmentation de la surface d'échange entre l'air et le sol.

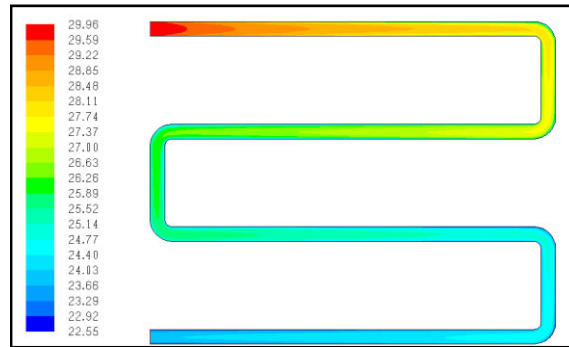
- Le flux thermique augmente avec la profondeur. Plus le tube est enfoui profondément dans le sous-sol, plus la température du sol est diminuée, la différence de température sol-air augmente et le flux thermique augmente.

#### d. Distribution de la température dans l'échangeur air-sol

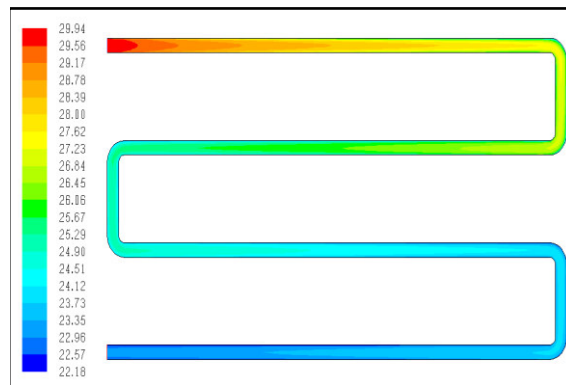
- **Influence de la longueur de tube**

Pour mettre en évidence l'influence de la longueur du tube sur la température de sortie, on prend le débit volumique, le diamètre et la profondeur comme constantes ( $Q_v = 125 \text{ [m}^3/\text{h]}$ ),

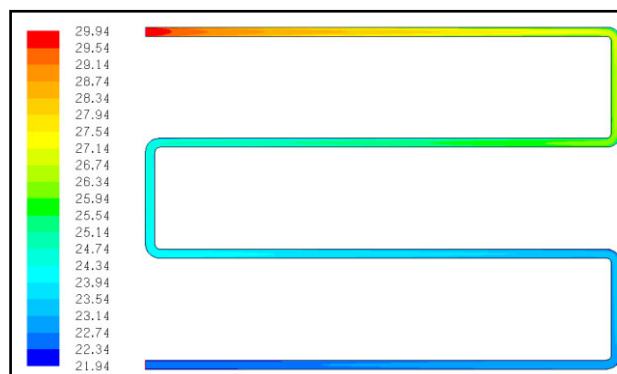
$D = 0.2 \text{ m}$   $Z = 2.5 \text{ m}$ ); Et on représente l'évolution de la température de l'air dans l'échangeur, pour des différentes longueurs ( $L=25, 35, 45 \text{ m}$ ).



**Figure 4.46 :** Distribution de la température dans l'échangeur pour  $L=25\text{m}$  et  $D =0.2 \text{ m}$ .



**Figure 4.47 :** Distribution de la température dans l'échangeur pour  $L=35\text{m}$  et  $D =0.2 \text{ m}$ .

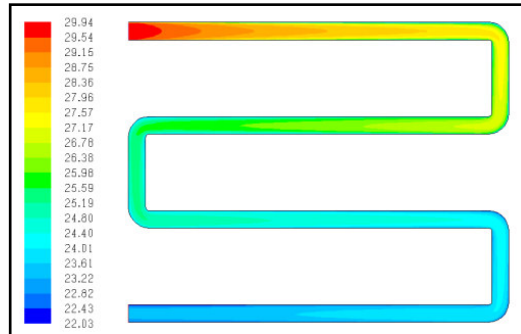


**Figure 4.48 :** Distribution de la température dans l'échangeur pour  $L=45\text{m}$  et  $D =0.2 \text{ m}$ .

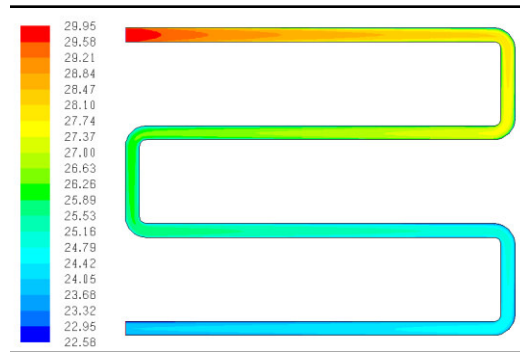
Les figures (4.46 et 4.47) montrent clairement que la température de l'air garde son décroissement jusqu'à la sortie, tandis que la figure (4.48) ( $L= 45\text{m}$ ) indique une stabilisation de température qu'on peut la localiser presque trois mètres avant le point de sortie.

### • Influence de débit volumique

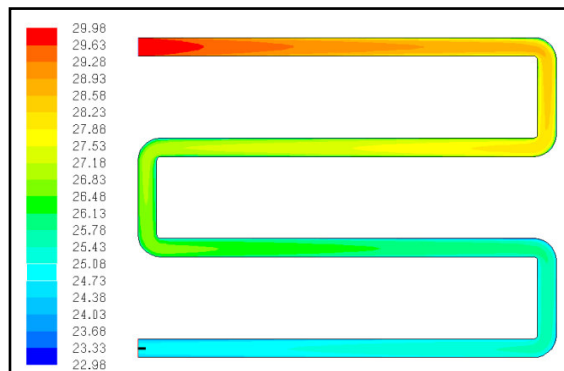
Pour évaluer l'influence du débit volumique sur l'efficacité de système, le même travail se répète, mais on maintient dans ce cas la longueur, le diamètre et la profondeur constantes ( $L=25$  m,  $D = 0.20$  m  $Z = 2.5$  m) ; Et on poursuit l'évolution de la température par rapport le débit volumique



**Figure 4.49** : Distribution de la température dans l'échangeur pour  $Q_v = 125 \text{ m}^3/\text{h}$ .



**Figure 4.50** : Distribution de la température dans l'échangeur pour  $Q_v = 200 \text{ m}^3/\text{h}$ .



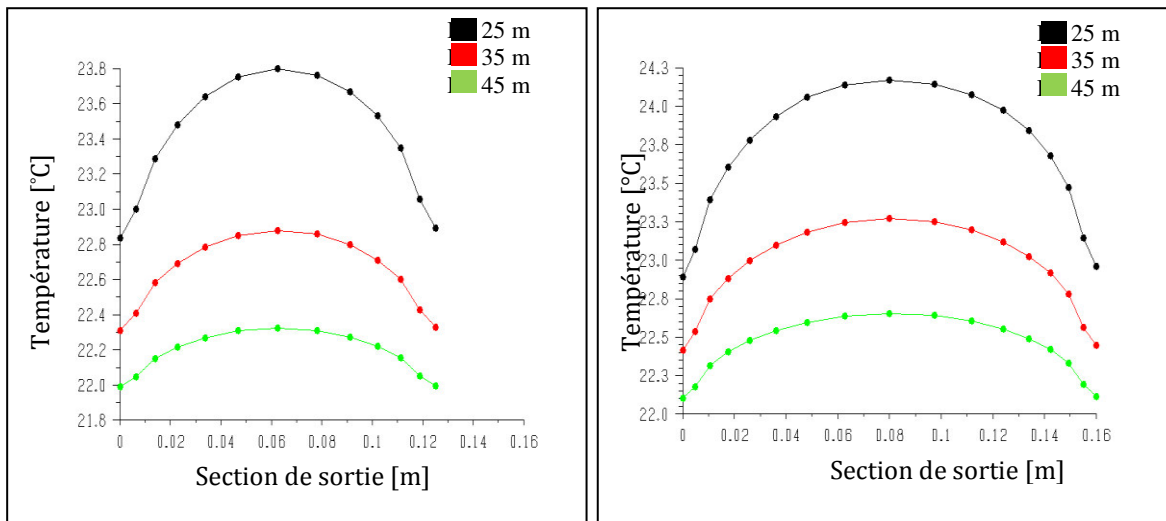
**Figure 4.51** : Distribution de la température dans l'échangeur pour  $Q_v = 300 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Les figures (4.49), (4.50) et (4.51) indiquent une augmentation de la température à la sortie simultanément avec l'augmentation de débit volumique, cette augmentation est justifiée par la diminution du temps de séjour.

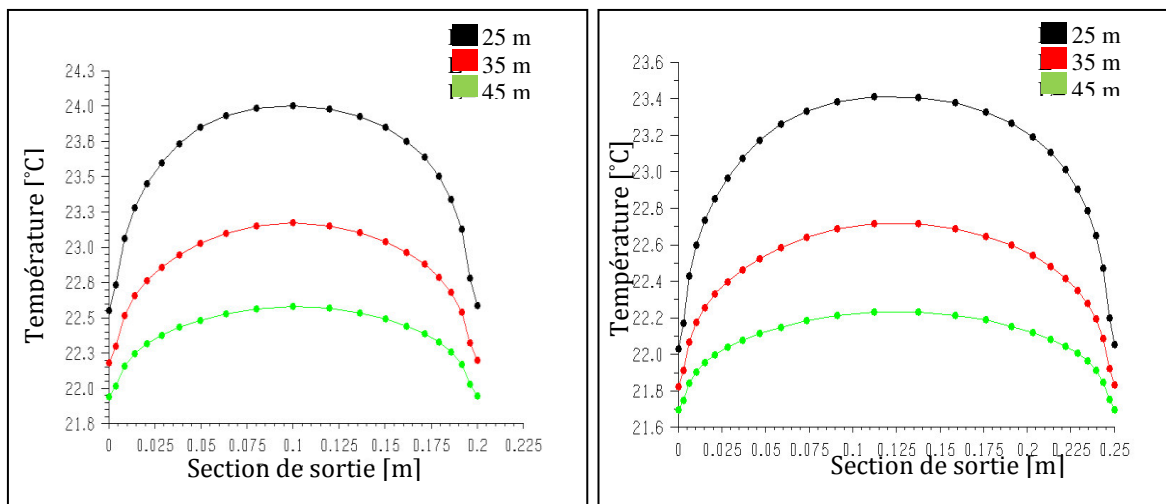
e. La température de sortie

Pour avoir l'effet de l'échangeur air/sol en termes de confort sur la température ambiante d'un local, on va tracer les profils de température à la sortie du tube (entrée de local) pour une profondeur  $Z=2.5$  m.

Pour :  $Q_v = 125 \text{ m}^3/\text{h}$ .



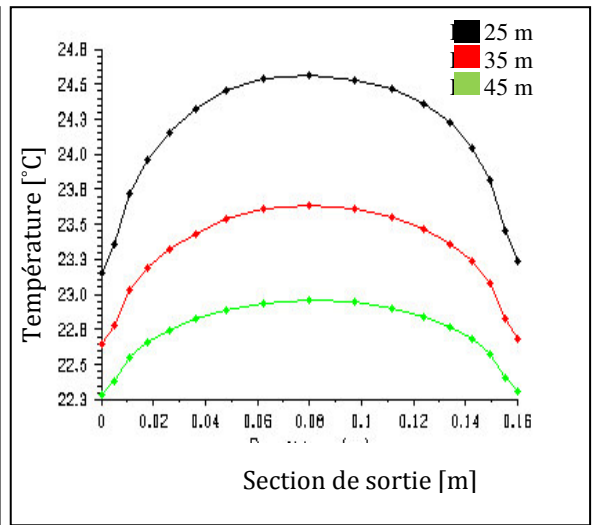
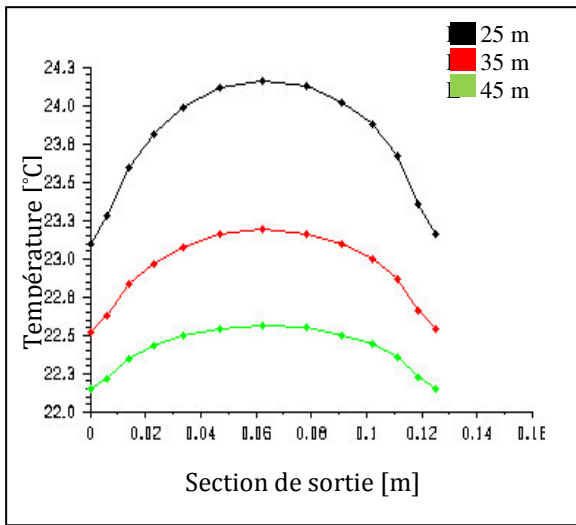
*a : Diamètre = 0.125 m    b : D = 0.160 m*



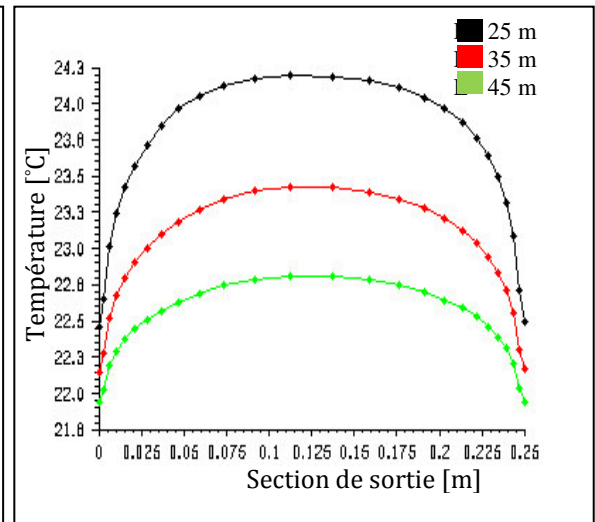
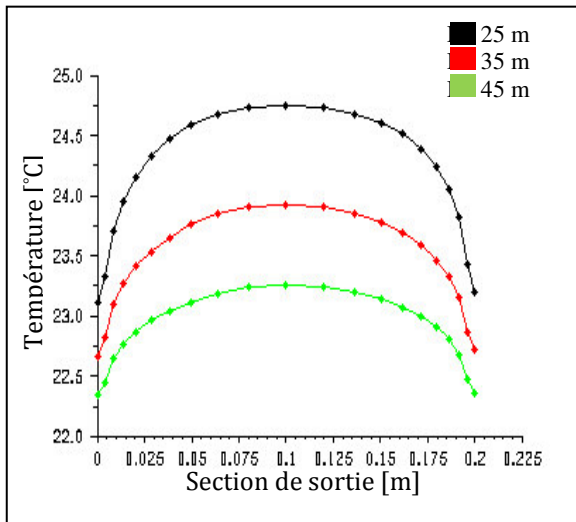
*c : D = 0.200 m    d : D = 0.250 m*

**Figure 4.52** : Profils de température à la sortie du tube pour  $Q_v = 125 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Pour  $Q_v = 200 \text{ m}^3/\text{h}$  :



*a* :  $D = 0.125 \text{ m}$     *b* :  $D = 0.160 \text{ m}$



*c* :  $D = 0.200 \text{ m}$     *d* :  $D = 0.250 \text{ m}$

**Figure 4.53** : Profils de température à la sortie du tube pour  $Q_v = 200 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Pour  $Q_v = 300 \text{ m}^3/\text{h}$  :

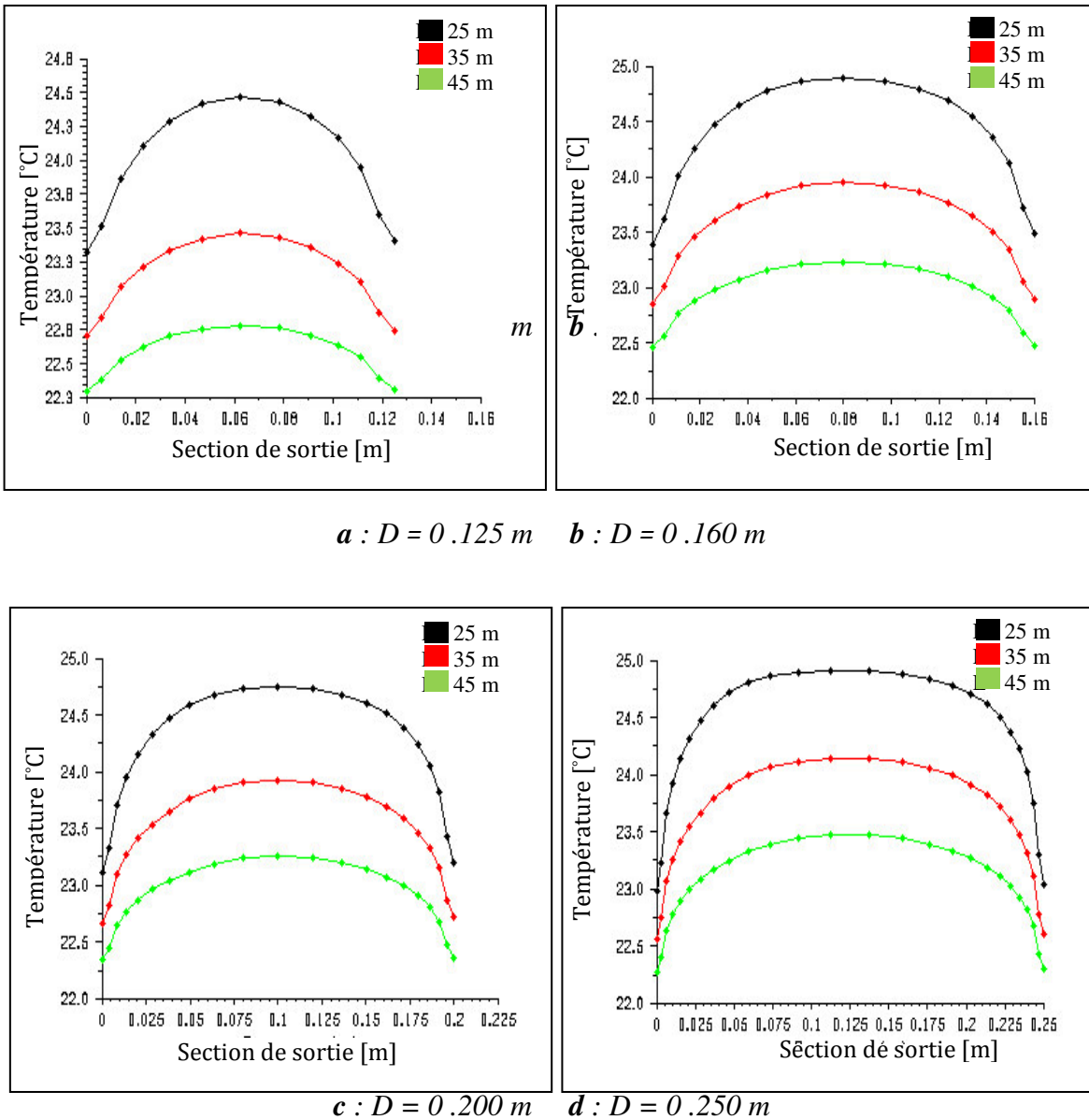


Figure 4.54: Profils de température à la sortie du tube pour  $Q_v = 300 \text{ m}^3/\text{h}$ .

L'interprétation de représentations graphiques ci-dessus peut être résumée dans les points suivants :

- Pour n'importe quel débit volumique ou diamètre, la longueur est le paramètre plus influent sur la température de sortie, dans tous les cas ; passant de  $L = 25 \text{ m}$  à  $L = 45 \text{ m}$ , la chute de température moyenne à la sortie est assez importante ( $1.5 \text{ }^\circ\text{C}$  environ).
- Le débit volumique lui-même influe sur la température de sortie mais d'une façon plus réduite, l'augmentation de celle-ci entraîne, toujours, à l'augmentation de la température.



## Chapitre 4. Étude numérique et expérimentale de la ventilation naturelle.

- Une augmentation du diamètre des tubes amène à une augmentation de la surface d'échange, mais ne réduit pas nécessairement la température de sortie, par exemple le passage d'un diamètre de 0.125 m à un diamètre de 0.160 m est accompagné par une légère augmentation de la température. Ce phénomène peut être exprimé par une concordance entre la vitesse et le diamètre ; ce qui entraîne une chute du coefficient d'échange convectif et donc une diminution de l'épaisseur de la couche limite.

Le tableau (4.15) est un récapitulatif des représentations graphiques précédents.

**Tableau 4.15** : La température moyenne de sortie pour  $Z=2.5\text{m}$ .

Débit volumique [m <sup>3</sup> /h]	Diamètre [m]	Vitesse [m/s]	Longueur [m]		
			25	35	45
125	0.125	2.83	23.38	22.63	22.17
	0.160	1.73	23.66	22.92	22.42
	0.200	1.1	23.45	22.77	22.32
	0.250	0.7	22.89	22.35	22.00
200	0.125	4.52	23.71	22.89	22.38
	0.160	2.76	24.02	23.23	22.68
	0.200	1.77	24.16	23.44	22.89
	0.250	1.13	23.58	22.93	22.46
300	0.125	6.79	23.98	23.13	22.57
	0.160	4.15	24.32	23.50	22.91
	0.200	2.65	24.48	23.74	23.16
	0.250	1.7	24.28	23.57	23.01

Les analyses précédentes ont révélé que le choix des dimensions optimales pour l'échangeur air-sol dépend du volume à ventiler (débit volumique).

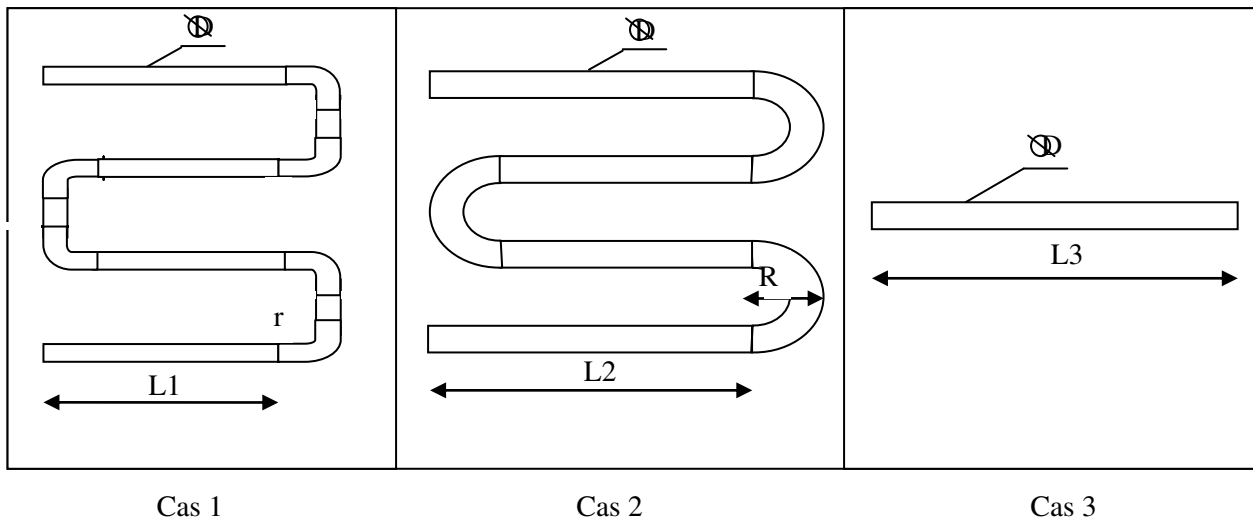
On peut choisir, pour chaque volume à ventiler (débit volumique) les dimensions convenables comme suit :

- Pour un besoin de 120 m<sup>3</sup>/h de ventilation, on peut installer : L= 45 m, D=0.160, Z=2.5m.
- Pour un besoin de 200 m<sup>3</sup>/h de ventilation : L= 45 m, D=0.200, Z=2.5 m.
- Pour un besoin de 300 m<sup>3</sup>/h de ventilation : L= 45 m, D=0.250, Z=2.5 m.

Ce choix tient compte de la consommation électrique par ventilateur (perte de charge) et la performance thermique de l'échangeur (température de sortie).

**f. Optimisation de la configuration de l'échangeur air-sol**

Dans cette partie nous optimisons la géométrie de l'échangeur air-sol, en vue de réduire la consommation électrique par diminution de la perte de charge dans la conduite. Pour cet objet, nous avons proposé les trois configurations suivantes :



**Figure 4.55 :** Les trois cas de la géométrie de l'échangeur.

Avec :  $R = 1\text{m}$  et  $r = 0.3\text{ m}$

L'évolution de la pression totale à l'intérieur de l'échangeur dans les trois configurations géométriques précédentes (Figure 4.51) et pour les trois débits volumiques est représentée sur les figures (4.52 ; 4.53 ; 4.54).

N.B. Les parois internes des tubes sont considérés lisses (la rugosité est nulle).

Pour  $Q_v = 125 \text{ m}^3/\text{h}$  :

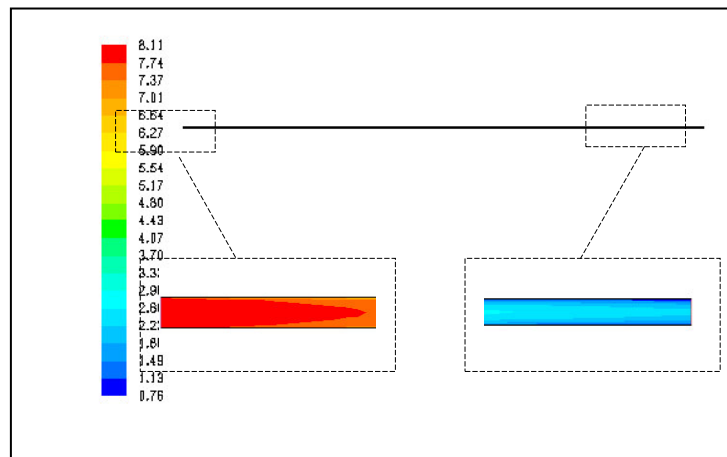
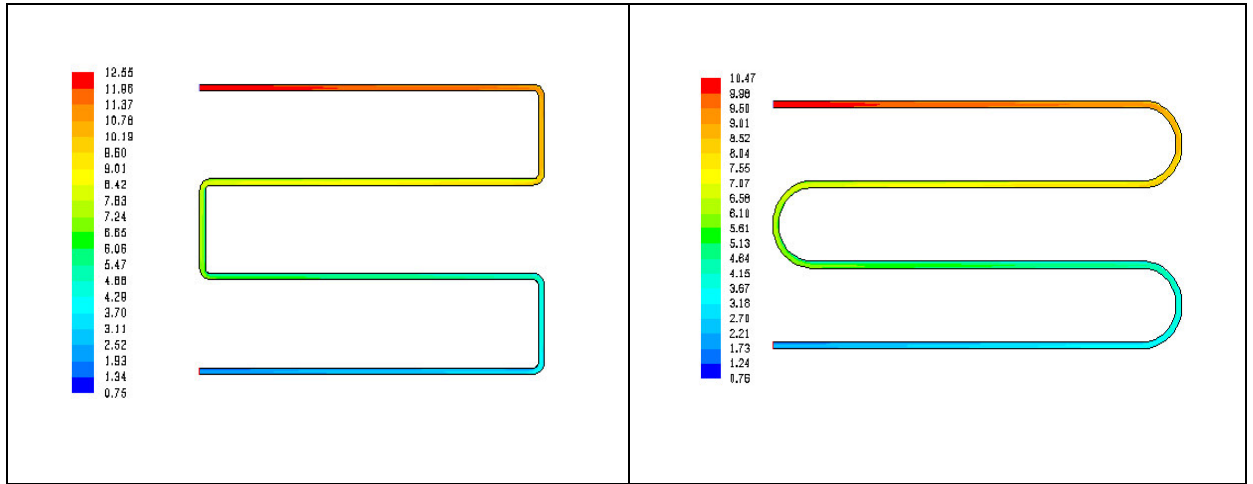
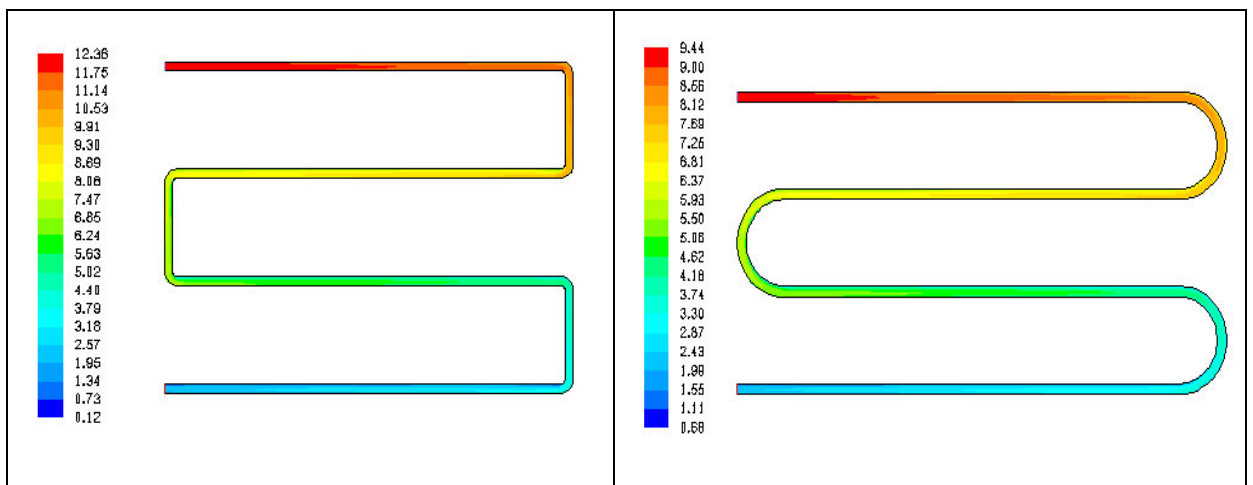


Figure 4.56 : La distribution de pression totale en (Pa) pour  $Q_v = 125 \text{ m}^3/\text{h}$

Pour  $Q_v = 200 \text{ m}^3/\text{h}$  :



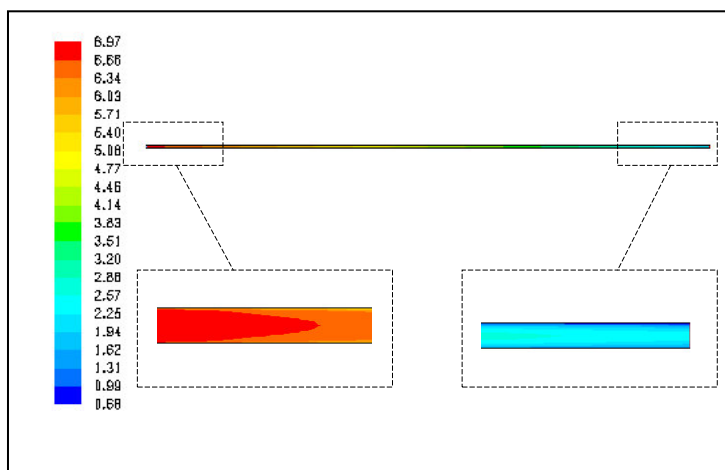


Figure 4.57 : La distribution de pression totale en (Pa), pour  $Q_v = 200 \text{ m}^3/\text{h}$

Pour  $Q_v = 300 \text{ m}^3/\text{h}$  :

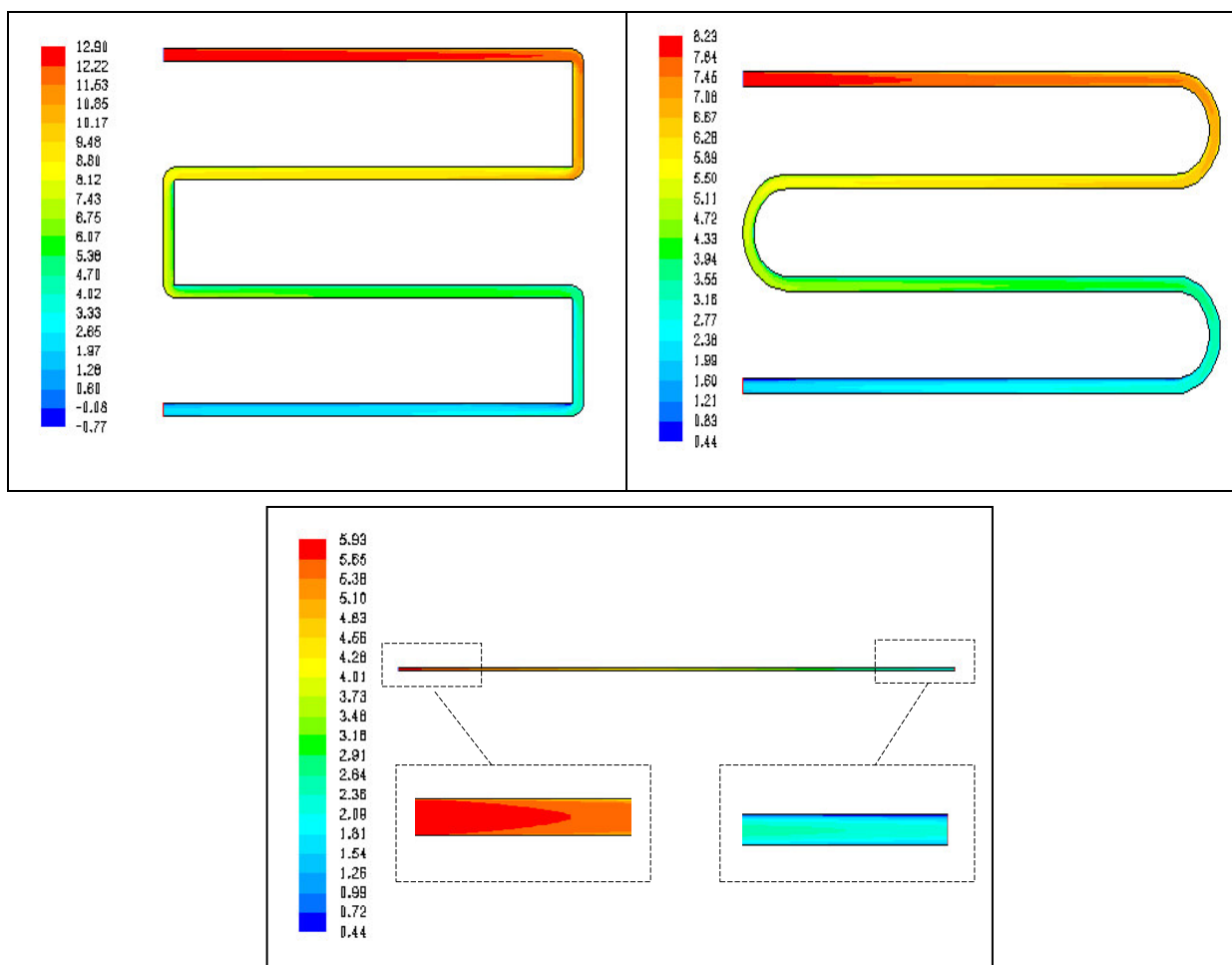


Figure 4.58 : La distribution de pression totale en (Pa), pour  $Q_v = 300 \text{ m}^3/\text{h}$

**Tableau 4.16 :** Calcul la perte de charge.

$Q_v$ [m <sup>3</sup> /h]	D [m]	L [m]	Température de sortie [°C]			Flux thermique [ W ]			Perte de charge [Pa]		
			Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 1	Cas 2	Cas 3
125	0.16	45	22.42	22.44	22.54	2.55	2.52	2.52	10.82	8.74	6.38
200	0.20	45	22.89	23.08	23.1	3.03	2.93	2.92	10.65	7.72	5.26
300	0.25	45	23.01	23.31	23.33	3.53	3.34	3.33	11.38	6.71	4.42

Le tableau (4.16) permet de choisir la configuration optimale pour que la perte de charge soit minimale en tenant compte les possibilités de terrain.

Il est clair que, la configuration Cas 3 manifeste le minimum de perte de charge ; mais, il semble qu'elle est difficile à installer. Donc, le choix le plus logique sera la configuration Cas2.

**g. Calcul de la puissance de ventilateur**

La géométrie de l'échangeur air-sol intervient directement sur la consommation électrique, d'où vient l'importance d'évaluer la puissance de ventilateur.

Pour chaque débit, la géométrie choisie précédemment nécessite certaine puissance de ventilateur à calculer :

La puissance de ventilateur est donnée par la formule suivante :

$$P_V = \frac{1}{3600} \frac{Q_v \Delta p}{\eta} \text{ [W]} \quad (4.48)$$

Considérant le tube en PVC (rugosité égale 0.007mm) et le rendement de ventilateur  $\eta = 60 \%$ .

**Tableau 4.17 :** Calcul de la puissance de ventilateur

Débit volumique [m <sup>3</sup> /h]	Longueur [m]	Diamètre[m]	Pert de charge [Pa]	Puissance ventilateur [W]
125	45	0.160	60.10	3.47
200	45	0.200	57.19	5.33
300	45	0.250	58.17	8.07

De ce tableau, il ressort que : la puissance du ventilateur est d'autant plus élevée que le débit est important, mais elle reste relativement faible par rapport à la consommation électrique dans les systèmes de climatisation conventionnelle.

### 4.4. Conclusion

Les résultats obtenus montrent l'effet de la cheminée solaire et l'échangeur air- sol sur l'ambiance intérieure des bâtiments.

Nous avons étudié le comportement de la cheminée pour deux angles d'inclinaison (30° et 45°) et de trois épaisseurs de lame d'air entre l'absorbeur et la vitre. Cette étude nous a permis d'approcher de multiples conclusions :

- Le système a permis d'obtenir des températures d'air et des débits assez élevées à la sortie de la cheminée, favorables pour les exploiter dans la ventilation naturelle.
- L'augmentation de l'épaisseur de lame d'air joue un rôle très important et augmente significativement le débit volumique de l'air sortant de la cheminée.
- Le tirage thermique optimal correspond à une inclinaison d'un angle de 45° par rapport à l'horizontale.

Les différentes températures mesurées expérimentalement ont été utilisées comme des données pour la simulation. Les résultats expérimentaux nous ont permis aussi de valider les résultats obtenus par simulation. Des profils de température et de vitesse à l'intérieur de la cheminée solaire ont été déterminés par simulation numérique.

La simulation de l'échangeur air sol a été réalisée par le logiciel (FLUENT). La validation du modèle se fait par une comparaison entre les résultats de simulation et ceux obtenus expérimentalement sur le site de Biskra. Un bon accord a été observé entre les deux.

L'étude paramétrique donne une plage de définition d'un modèle échangeur air-sol propre aux conditions climatiques estivales d'Ouargla.

L'intérêt majeur de notre travail réside dans le fait que le système échangeur air-sol est capable de diminuer la température des locaux à l'ordre de 8 °C seulement avec une consommation électrique de 8 W.

Pour atteindre cette efficacité, les recommandations peuvent être résumées comme suit :

- Le diamètre de la conduite et le débit d'air sont liés à la vitesse de l'air parcourant le puits ; celle-ci ne doit pas dépasser les 2 mètres par seconde, afin de ne pas induire des pertes de charges trop importantes dans le puits. Pour un débit significatif, le diamètre doit être compris entre 16 et 25 centimètres.
- La température de sortie est directement liée à la température du sol. Son amplitude diminue fortement avec la profondeur. Nous avons obtenu une chute de température de 9.5 °C à 2.5 mètres et de 6 °C à 1 mètres. Du fait, le puits doit être enterré assez profondément que possible, de manière à profiter au mieux de l'inertie du sol.
- L'apport thermique d'échangeur air-sol doit enfin être confronté à la surconsommation électrique des ventilateurs, qui doivent à la fois établir le flux d'air (énergie cinétique) et vaincre les pertes de charge du système de ventilation (énergie de frottement).

La simulation de l'échangeur air sol a été réalisée par le logiciel (FLUENT). La validation du modèle se fait par une comparaison entre les résultats de simulation et ceux obtenus expérimentalement sur le site de Biskra. Un bon accord a été observé entre les deux. L'étude paramétrique donne une plage de définition d'un modèle échangeur air-sol propre aux conditions climatiques estivales d'Ouargla.

# **Chapitre 5**

**Impact de la végétation sur le confort thermique des bâtiments**



### 5.1. Introduction

La végétation peut jouer un rôle important dans le topo-climat des villes et aussi dans le microclimat des bâtiments. Il est différent selon les conditions microclimatique, mais en tout cas la végétation peut donner une contribution significative aux conditions climatiques. Le climat local est déterminé par les éléments atmosphériques, tels que le rayonnement net, l'advection et la convection, et par les facteurs géographiques, en particulier la longitude et la latitude, l'océanité et l'aridité, les graduations en relief et les facteurs de la surface et de la structure urbaines.

L'utilisation appropriée de la végétation sur le bâtiment peut régler le microclimat urbain et améliorer le comportement thermique des enveloppes de bâtiment. La couverture végétale des surfaces de bâtiment est un moyen commun pour fournir un effet de refroidissement bénéfique dans la zone de bâtiment. Les plantes absorbent une quantité considérable de rayonnement solaire pour leur croissance et pour leurs fonctions biologiques, tel que photosynthèse, respiration, transpiration et évaporation du feuillage. L'influence des surfaces végétalisées dépend de plusieurs paramètres. Tout d'abord, des facteurs tels que le pourcentage de couverture, la densité et la largeur du feuillage des plantes qui recouvrent les surfaces des bâtiments.

Dans ce chapitre, à fortiori pris en considération dans cette étude, nous allons énumérer, les hypothèses, les matériels par lesquels on va réaliser notre protocole expérimental à savoir : les appareils de mesures, les cellules et les espèces végétales. Posteriori, dans la partie expérimentale nous évaluons l'impact de la végétation grimpante et la toiture végétalisée sur le confort hygrothermique estival des bâtiments et par conséquent sur le confort des individus.

Pour l'investigation, Il existe plusieurs techniques et méthodes d'évaluation du confort thermique des bâtiments sous l'effet de la végétation telles que

- Les méthodes de calcul basées sur l'usage de formules et d'équations mathématiques.
- Les mesures sur modèle réel.
- Les simulations numériques à l'aide de différents logiciels (Benhlilou K, 2008).

Pour notre cas, nous avons recouru au deuxième outil de recherche qui se traduit par la mesure de plusieurs paramètres et la collecte des résultats dans le but d'évaluer le confort hygrothermique des maisons sous l'effet de la végétation dans les régions arides.

### 5.2. Etude expérimentale :

#### 5.2.1. Description du dispositif expérimental :

Ce travail a pour but d'étudier l'effet de refroidissement de l'écran végétal sur l'ambiance hygrothermique d'une chambre réalisée dans laboratoire VPRS de l'Université Kasdi Merbah à Ouargla, Algérie sous le climat d'Ouargla. La chambre étudiée possède une surface de  $1 \text{ m}^2$ , elle est de type cellules prototype à une échelle de  $\frac{1}{4}$  d'une chambre simple. Il a été sélectionné minutieusement dans un but de confirmer ou infirmer les hypothèses proposées pour atteindre notre objectif. L'investigation s'est déroulée dans deux cellules : l'une est mise comme échantillon de référence et l'autre échantillon pour l'expérimental (mur végétal et toiture végétalisée). Nous avons fixé quelques paramètres communs entre les différents échantillons tels que : l'orientation et le matériau. La cellule a une petite fenêtre d'une surface de  $39.5 \times 24.5 \text{ cm}^2$  et une petite porte d'une surface de  $47.5 \times 29 \text{ cm}^2$ .

#### 5.2.2. Différents étapes de constructions des cellules

Pour tester l'effet de la végétation sur différentes cellules, nous avons construit deux cellules identiques.

##### 5.2.2.1. Préparation de ferrailage

On a utilisé trois types de bars de diamètre 6, 8 et 10 mm. Pour les cadres de diamètre 6mm il y a deux formes, l'une est pour les longrines et les poutres sous forme rectangulaire à une dimension de  $6 \times 10 \text{ cm}$ , et l'autre carré pour les poteaux à une dimension de  $8 \times 8 \text{ cm}$ . (Figure 5.1).



**Figure 5.1:** Préparation de ferrailage.

## Chapitre 5: Impact de la végétation sur le confort thermique des bâtiments

---

Pour les poutres et les longrines on utilise quatre bars de diamètre 8mm où l'emplacement des cadres sont raffiné au niveau des cotés (distance de 3 à 4 cm entre deux cadres successives), la distance atteint 10 cm au milieu. Pour les poteaux on a placé les cadres 8x8 cm sur quatre bars de 10 mm de diamètre d'une même forme dans laquelle les poutres. L'ensemble poteaux engraines forment la base de notre habitat. Pour le renforcement de planché, on fait placer des morceaux de bars (diamètre 6 mm) entre les longrines pour le renforcement.

### 5.2.2.2. Collages :

Le collage du mur est l'application d'un matériau sur un autre pour fournir une peau ou une couche. Dans la construction, Le collage est utilisé pour fournir un certain degré d'isolation thermique et de résistance aux intempéries, et pour améliorer l'apparence des cellules. Le revêtement peut être fait d'un large éventail de matériaux. Les étapes de collage sont présentes sur les figures suivantes :



**Figure 5.2.** Construction de l'enveloppe.

### 5.2.2.3. Emplacement de fenêtre et de porte

Les fenêtres et les portes se connectent l'intérieur d'une maison avec l'extérieur, ils fournissent la ventilation et la lumière du jour, et ils sont des éléments esthétiques importants. Une fenêtre en bois de dimension 30x25cm a été place au centre du mur Nord, la porte de dimension 50x30 cm a été place au mur Est. Ces derniers sont plus important pour crée le renouvellement d'air à l'intérieur de l'habitat (ventilation naturelle).



**Figure.5.3** : La fenêtre.



**Figure.5.4** : La porte.

### 5.2.2.4. Ferrailage et collage de la dalle

Pour le ferrailage de la dalle, on a entrecroisé des morceaux (bars de diamètre 6mm) pour avoir la forme de grillage. Elle est renforcée par des petits morceaux sur les côtes, le collage de la dalle a été fait sur la terre. On fait L'emplacement de la dalle sur les poutres et on fait l'étanchéité par la silicone.



**Figure5.5** : Collage de la dalle.



**Figure.5.6** :L'emplacement de la dalle.

Après le placement des deux dalles nous obstruons les fuites par un mastic en silicone pour éviter les changes thermique.

### 5.2.3. Mur végétal

Pour réaliser un bon mur vert nous avons constitué un cadre de baguette de planche de 2 cm, puis nous posons un grillage sur les planches pour que la plante grimpante s'accroche.

#### 5.2.3.1. Choix des plantes

Parmi les grimpantes que nous avons trouvées dans notre ville, nous avons choisi le Jasmin et l'Aristolochiée parce qu'elles ont les caractéristiques suivantes:

- Rapidité remarquable de croissance surtout pour l'Aristolochia.
- La méthode de croissance (l'expansion sur le mur)
- La capacité de supporter la chaleur surtout pour l'Aristolochia.



Figure 5.7 : Mur végétal.

### 5.2.4. Toiture végétalisée

#### 5.2.4.1. Description de toiture végétalisée

Nous apportons une palette en bois habituellement utilisée comme support pour les marchandises, nous l'avons démontée pour récupérer les planches. Celles-ci placées distantes l'une de l'autre de 2 à 3 cm. Pour construire, finalement, la base de la toiture végétalisée. Ensuite nous entourons les bordures de la base par des planches de 13cm de largeur qui sont peintes en blanc. Pour éviter l'endommagement par l'eau nous plaçons un film de plastique transparent pour garder une partie de l'eau qui est exploitée par les plantes et aussi pour supporter la couche de culture, puisque le film de plastique n'est pas suffisant pour maintenir le poids de la couche de culture par conséquent nous le renforçons par un grillage solide.

En suite, le film de plastique est perforé de plusieurs endroits cela permet l'évacuation de l'eau excédentaire. En suite nous posons un autre film de plastique entre la dalle et la toiture végétale pour assurer l'étanchéité et éviter l'influence de l'eau sur la mesure de la température superficielle de la dalle.

Après l'emplacement de la toiture sur la dalle toutes les bornes extérieures de la toiture sont obstruées par du mastic en silicone. Pour assurer l'évacuation d'eau à l'extérieur nous avons levé la toiture de quelques cm. Le substrat utilisé pour la culture est d'environ 5 cm d'épaisseur.





**Figure 5.8 :** Les matériaux utilisés et les étapes de construction de la toiture végétale.

### 5.2.4.2. Plante de toiture

Pour la toiture végétale nous avons choisi Le pourpier Les causes de ce choix sont:

- Le gain du temps : puisque ces plantes se caractérisent par sa leur rapidité de croissance.
- Aspect économique : le pourpier entre dans notre alimentation.
- La forme et la surface de leurs feuilles.
- le pourpier s'adapte bien avec notre climat et se caractérise par la capacité de supporter la chaleur.

### 5.3. Les hypothèses proposées

Selon le but et les objectifs de cette étude,, nous avons spécifié deux hypothèses :

- La végétation autour des bâtiments crée une protection saisonnière, elle réduit les problèmes liés aux surchauffes, elle fournit de l'ombrage donc minimise l'insolation directe sur les bâtiments. Par conséquent, elle constitue un moyen efficace pour rafraîchir le climat aride tel celui d'Ouargla.
- L'évapotranspiration des feuilles de la végétation grimpante ainsi que la végétation de toiture permet de rafraîchir l'air ambiant qui enveloppe le bâtiment se qui crée une création d'un confort hygrothermique à l'intérieur des bâtiments. D'autre part, dans le cycle vital de la végétation ; soit de l'absorption de CO<sub>2</sub> ou de l'émission d'oxygène, elle conduit à réduire les émissions de CO<sub>2</sub> dans l'air et fournit l'oxygène.

5.4. Critères de choix des échantillons

Nous avons deux cellules l'une testée et l'autre sert de référence. Mais Puisque nous effectuons deux études pour le mur et la toiture par conséquent nous avons besoin de nommé quatre cellules.

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques technologiques des différents échantillons.

**Tableau.5.1** : Les caractéristiques technologiques des différents échantillons.

Récapitulation	Caractéristiques propres à chaque cellule.	Caractéristiques Communes
La cellule "A"	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mur nu</li> <li>• une dalle nue</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aucune source de chaleur dans</li> <li>Les cellules</li> <li>• Epaisseur du mur 13 cm</li> <li>• fenêtre d'une surface de <math>39.5 \times 24.5 \text{ cm}^2</math></li> <li>- la surface du mur = <math>120 \text{ cm}^2</math></li> <li>-Le volume de cellule = <math>80 \times 120 \times 1 \text{ cm}^3</math></li> <li>• la porte d'une surface = <math>47.5 \times 29 \text{ cm}^2</math></li> <li>• l'épaisseur de la dalle et plateforme= <math>8 \text{ cm}^2</math></li> <li>• couleur grise foncée (couleur de ciment).</li> </ul>
La cellule "B"	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mur couvert de Aristolochia</li> <li>• Epaisseur feuillage =5 cm</li> <li>• Rapport de couverture =100%</li> <li>• une lame d'air entre le feuillage et le mur =5cm</li> <li>• une dalle nue</li> </ul>	
La cellule "C"	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mur couvert de Jasmine</li> <li>• Epaisseur feuillage =5 cm</li> <li>• Rapport de couverture =100%</li> <li>• une lame d'air entre le feuillage et le mur = 5 cm</li> <li>• une dalle nue</li> </ul>	
La cellule "C' "	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mur couvert de Jasmine</li> <li>• Epaisseur feuillage =5 cm</li> <li>• Rapport de couverture =80%</li> <li>• une lame d'air entre le feuillage et le mur = 5 cm</li> <li>• une dalle nue</li> </ul>	
La cellule "D"	<ul style="list-style-type: none"> <li>• une dalle de toiture végétalisées couvert par le pourpier.</li> <li>• Rapport de couverture= 80%</li> <li>• Epaisseur culture d'environ = 5 cm.</li> </ul>	
La cellule "E' "	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mur couvert de Jasmine</li> <li>• Epaisseur feuillage =5 cm</li> <li>• Rapport de couverture =100%</li> <li>• une lame d'air entre le feuillage et le mur = 5 cm</li> <li>• une dalle de toiture végétalisées couvert par le pourpier.</li> <li>• Rapport de couverture= 80%</li> <li>• Epaisseur culture d'environ = 5 cm.</li> </ul>	

Il n'existe aucun obstacle ou masque environnemental proche de la paroi extérieure de la cellule "D", elle est totalement exposée au soleil. Elle prend aussi une couleur grise foncée. La paroi extérieure a une épaisseur de 13cm.

### 5.5. Simulateur solaire:

Un simulateur solaire (également soleil artificiel) est un dispositif qui fournit un éclairage. Le but du simulateur solaire est de donner une installation d'essai contrôlable à l'intérieur dans des conditions de laboratoire. Les simulateurs solaires peuvent être divisés en trois grandes catégories:

- Le simulateur continue
- Le simulateur de flashé
- Le simulateur pulsé

Le simulateur utilisé est du premier type est à la forme familière de source de lumière dans laquelle l'éclairage est continu dans le temps. Cette catégorie est la plus souvent utilisée pour les essais de faible intensité, passant de moins de un soleil jusqu'à plusieurs soleils. Dans ce contexte, un soleil est généralement défini comme étant l'intensité nominale d'un plein soleil sur une journée claire et brillante sur la terre, qui mesure  $100 \text{ W/m}^2$ .

Nous avons choisi deux simulateurs solaires pour jouer le rôle de soleil, ces modèles ont la même intensité solaire. Les critères de ce choix sont les suivants .:

- Eviter les fluctuations climatiques telles que le vent de sable, les nuages intenses.

Le simulateur utilisé est constitué par les éléments suivants:

- La base : est constituée de ciment sous forme carrée ;
- Support vertical : en acier avec une longueur de 150 cm ;
- Support des lampes : en acier et de forme rectangulaire (72cmx56cm) et supporte neuf projecteurs maximum avec possibilité d'inclinaison jusqu'à 45 ;
- Le projecteur : constitue par quatre projecteurs trois sont petites d'une puissance électrique 500 W et l'autre est grand et a une puissance de 1000 W.





Figure.5.9 : Simulateurs solaires.

### 5.6. Choix de la période de mesure et son déroulement

Les mesures des paramètres telles que la température et l'humidité pour les cellules (cellules testée et référence) sont effectués d'une durée de trois heures par trois heures (C.-à-d. on met en marche le premier simulateur trois heures pour la cellule testée puis on l'éteint et on fonctionne le deuxième simulateur trois heures pour la cellule référence).

Le phénomène de transfert de chaleur caractérisé par l'équation différentielle, généralement, se stabilisera après un certain temps, par conséquent nous avons fait un test de stabilisation, la température du mur temps est stabilisée après trois heures.

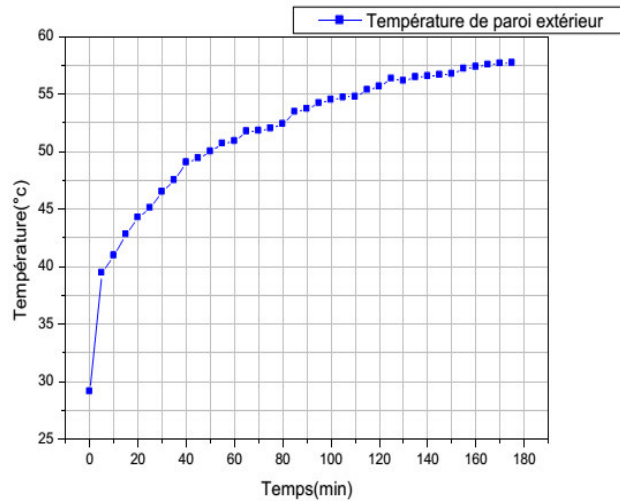
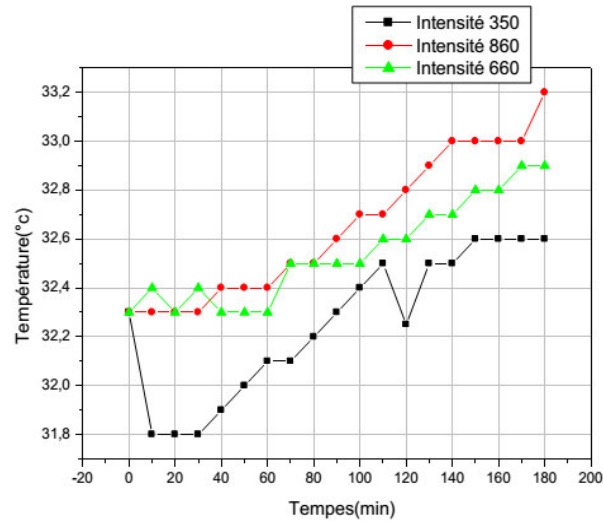


Figure 5.10 : La variation de température surfacique extérieure en fonction du temps.

### 5.7. Intensité de rayonnement du simulateur solaire

Le rayonnement solaire est en fonction de la latitude du lieu, de la position du soleil et des conditions climatiques. Pour tester l'effet de l'intensité de rayonnement du simulateur solaire, nous avons choisis trois valeurs d'intensité  $350 \text{ W/m}^2$ ,  $660 \text{ W/m}^2$  et  $850 \text{ W/m}^2$ .



**Figure 5.11 :** La variation des températures de l'air à l'intérieur de la cellule A .

Les températures de l'air à l'intérieur de la cellule A ont une relation directe avec l'intensité de rayonnement d'un simulateur solaire. En effet, la Figure 5.18, indique que les courbes des températures intérieures de la cellule "A" enregistrent les plus hautes valeurs pour une intensité de rayonnement de  $850 \text{ W/m}^2$ . Cette courbe a atteint sa valeur maximale de  $32,2^\circ\text{C}$  après trois heures.

### 5.8. Description du système d'acquisition

Les mesures de température dans les différents points de la maison sont réalisées avec Système d'acquisition de données. Quinze thermocouples de type K sont placés à l'intérieur et à l'extérieur de la cellule pour mesurer la température de l'air et des parois.



Figure 5.12 : Système d'acquisition

Pour les deux cellules, toutes les mesures sont effectuées au niveau du mur qui est exposé au simulateur. Les thermocouples pour chaque cellule sont placés de la manière indiquée dans les tableaux suivants.

- Cellule A:Mur nu

	Endroit	Paramètres mesurés
1	La surface externe du mur	Deux thermocouples sont placé l'un dans le centre et l'autre à Côté pour mesurer la température surfacique
2	La surface interne du mur	Deux thermocouples sont placé l'une dans le centre et l'autre à Côté pour mesurer la température surfacique
3	La surface externe de toiture	Deux thermocouples sont placé l'une dans le centre et l'autre à Côté pour mesurer la température
4	La surface interne de toiture	Deux thermocouples sont placé l'une dans le centre et l'autre à Côté pour mesurer la température
5	À l'intérieur de la cellule	un thermocouple pour mesurer la température et l'humidité

- Cellule B et C: Mur couvert de l'Aristolochia ou de Jasmin

	Endroit	Paramètres mesurés
1	La surface externe du mur	Deux thermocouples sont placés l'un dans le centre et l'autre à côté pour mesurer la température surfacique
2	La surface interne du mur	Deux thermocouples sont placés l'un dans le centre et l'autre à côté pour mesurer la température surfacique
3	La surface interne de la dalle	un thermocouple est placé au centre pour mesurer la température surfacique
4	À l'intérieur de la pièce	un thermocouple pour mesurer la température et l'humidité surfacique
5	La lame d'air	un thermocouple pour mesurer la température et l'humidité ambiantes
6	Au niveau du feuillage	un thermocouple pour mesurer la température et l'humidité ambiantes
7	La surface de feuille	un thermocouple pour mesurer la température surfacique des feuilles

- Cellule D: une dalle de toiture végétalisée couverte du pourpier.

	Endroit	Paramètres mesurés
1	La surface externe de la toiture	Deux thermocouples sont placés l'un dans le centre et l'autre à côté pour mesurer la température
2	La surface interne de la toiture	Deux thermocouples sont placés l'un dans le centre et l'autre à côté pour mesurer la température
3	La surface externe du mur	Deux thermocouples sont placés l'un dans le centre et l'autre à côté pour mesurer la température
4	La surface interne du mur	Deux thermocouples sont placés l'un dans le centre et l'autre à côté pour mesurer la température
5	À l'intérieur de la cellule	un thermocouple pour mesurer la température et l'humidité surfacique
6	Au niveau du feuillage des plantes	deux hygromètres pour mesurer la température et l'humidité

5.9. Résultats et discussion

5.9.1. Effet de l'utilisation de Mur végétal

5.9.1.1. Etude comparative entre la cellule " A " et la cellule " B "

Pour couvrir le mur de la pièce nous avons utilisé une plante et ceci en raison de la surface et de l'épaisseur de ses feuilles. Les caractéristiques des parois des cellules " A " et " B " sont énumérés dans le tableau suivant:

Tableau 5.2 : Caractéristiques des cellules "A" et "B".

Récapitulation	
Cellule " A "	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mur nu</li> <li>• Epaisseur mur= 13 cm</li> <li>• Couleur paroi extérieure : Gris Mur</li> </ul>
Cellule " B "	<ul style="list-style-type: none"> <li>• couvert par un écran végétal.</li> <li>• Aristolochia</li> <li>• Epaisseur mur= 13 cm</li> <li>• Couleur paroi extérieure : Gris</li> </ul>

a. Variation des températures intérieures dans les cellules "A" et "B "

La figure (5.13) montre que la courbe des températures intérieures de la cellule "A" croit lentement et d'une manière uniforme contrairement à celle de la cellule " B ". La cellule " B " a enregistré les plus hautes valeurs de température par rapport à la cellule "A" durant toute l'expérience.

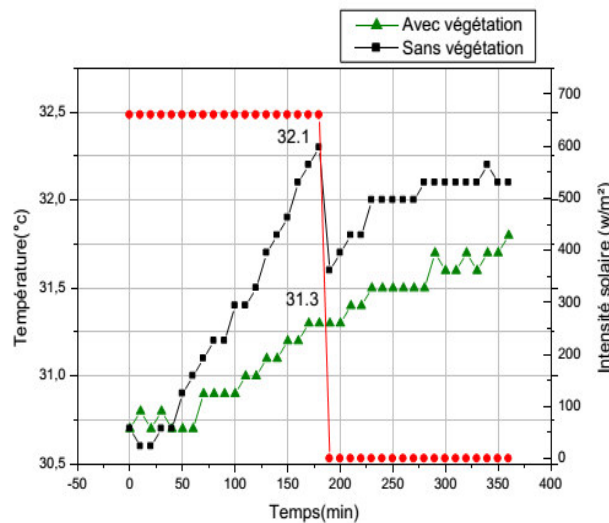


Figure. 5.13: Variation de température intérieure dans les cellules "A" et "B".

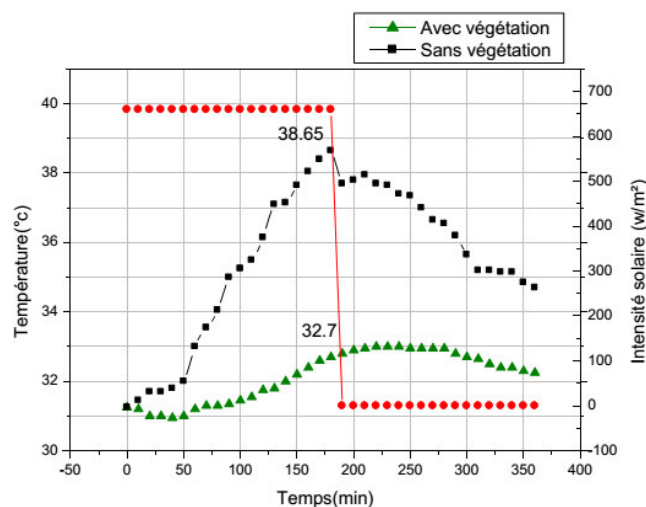
## Chapitre 5: Impact de la végétation sur le confort thermique des bâtiments

L'écart moyen enregistré entre les deux maisons est de  $0.6^{\circ}\text{C}$  avec un écart minimal de  $0.2^{\circ}\text{C}$ . La température intérieure de la façade nue atteint jusqu'à  $32,1^{\circ}\text{C}$ ; la différence entre la température intérieure dans la cellule "A" et la cellule "B" a atteint un maximum de  $1,1^{\circ}\text{C}$ . Par ailleurs, dès que la température externe et le rayonnement commencent à augmenter, les températures intérieures de la pièce testée dans la cellule "B" augmentent aussi malgré la fermeture de la fenêtre. Cette augmentation est occasionnée par un gain direct de chaleur par absorption à travers la paroi verticale opaque, sachant que la pièce testée est protégée des radiations dans toutes les autres parois.

On remarque qu'après l'extinction du simulateur, les températures de l'air intérieur dans les cellules augmentent lentement pour atteindre une valeur maximale de  $32.5^{\circ}\text{C}$  dans la cellule B et de  $31.8^{\circ}\text{C}$  dans la cellule A. ce qui implique que la paroi restitue la chaleur stockée vers l'intérieur, ce qui engendre une augmentation de la température intérieure. De ce fait, on peut déduire que la cellule "A" est protégée par rapport à "B". Ceci dit, l'écran végétal a pu augmenter la protection des parois contre le rayonnement, alors l'écran végétal représente un isolant capable de réduire les gains de chaleur entrant.

### b. Variation des températures surfaciques des cellules "A" et "B"

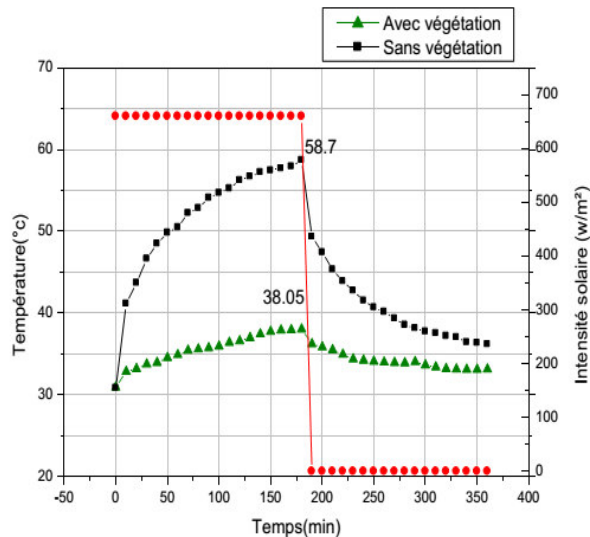
D'après la figure(5.14), la courbe représente la variation de températures moyenne de la surface externe dans la cellule "A" qui augmentent lentement pour atteindre une valeur maximale de  $38.05^{\circ}\text{C}$ , qui est nettement inférieure à celle des températures moyennes des surfaces externes dans la cellule "B" qui ont atteint une valeur maximale de  $58.7^{\circ}\text{C}$ , avec un écart maximal de  $20.65^{\circ}\text{C}$  et minimal de  $8.3^{\circ}\text{C}$ .



**Figure 5.14 :** Variation de température de surface intérieure dans les cellules "A" et "B".

En effet, la température de surface interne dans la cellule "A" évolue lentement en enregistrant un écart de  $1.75^{\circ}\text{C}$  entre sa valeur minimale de  $30.95^{\circ}\text{C}$  et sa valeur maximale de  $32.7^{\circ}\text{C}$ , qui coïncide avec la température intérieure maximale.

La figure (5.15) indique la variation des températures surfacique du mur extérieur dans les cellules "A" et "B".



**Figure 5.15 :** Variation de température de surface extérieure dans les cellules "A" et "B".

On remarque que la température de la surface interne dans la cellule "A" est toujours nettement inférieure à celle des températures moyennes de surfaces interne dans la cellule "B" qui ont atteint une valeur maximale de  $38.65^{\circ}\text{C}$ , avec un écart maximal de  $5.95^{\circ}\text{C}$  et minimal de  $0.25^{\circ}\text{C}$ .

On remarque que la température de la surface interne dans la cellule "A" est toujours nettement inférieure à celle des températures moyennes de surfaces interne dans la cellule "B" qui ont atteint une valeur maximale de  $38.65^{\circ}\text{C}$ , avec un écart maximal de  $5.95^{\circ}\text{C}$  et minimal de  $0.25^{\circ}\text{C}$ .

Après l'extinction du simulateur, la température de la surface extérieure diminue alors que celle de surface interne continue d'augmenter, cela est dû à l'effet de l'inertie de la paroi. L'expérience a démontré qu'une couche végétale une façade peut réduire efficacement les températures de surface extérieures sur façades, fluctuations de température quotidiennes à l'intérieur, murs extérieurs les gradients de température, et, par conséquent, le flux de chaleur à travers le mur extérieur. Le gradient de température mesuré de l'extérieur à l'intérieur a servi de substitut à la conduction de la chaleur à travers le mur. Ce gradient dépendait plus fortement des températures extérieures changeantes de la surface, car elles variaient beaucoup

plus que les températures de surface intérieures (à l'intérieur, à l'intérieur d'un espace conditionné). La température de surface de l'enveloppe à l'intérieur du bâtiment reste très élevée et proche de la température ambiante même par des températures extérieures très basses.

La température de surface interne dans la cellule "B", dépasse légèrement celle de l'air intérieur de 6.35°C, la même chose pour la cellule A qui a atteint un écart de 1.4°C. A cet effet, on peut déduire que la température de l'air et celle de la surface de la paroi sont liées par le processus de rayonnement.

D'après les résultats obtenue, il devient évident que l'effet du feuillage des plantes sur la température maximale quotidienne de la surface du mur extérieur est plus significatif pour les surfaces de parois orientées vers l'est ou l'ouest. Par conséquent, en raison de l'impact considérable du rayonnement solaire, il semble que l'absence de couche verte entraîne de graves pics de température et des flux de chaleur inutiles à travers les surfaces externes.

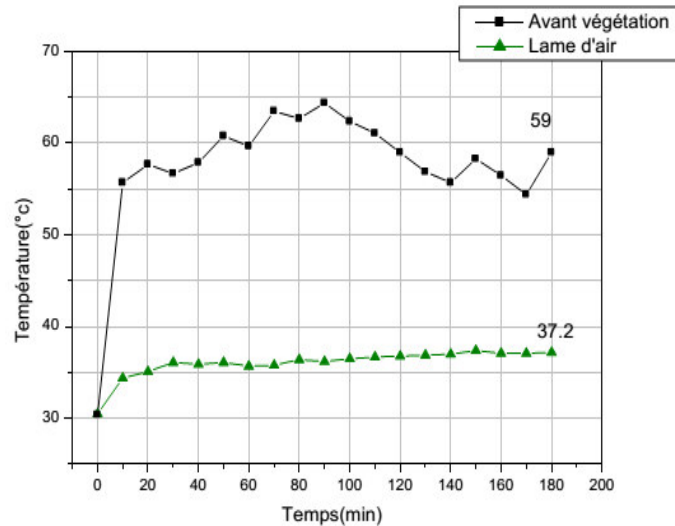
Les parois des cellules "A" et "B" a une résistance thermique et un coefficient de transmission de 5.35 W/m<sup>2</sup> °C. Pour la cellule "B", les apports de chaleur sont amortis d'un maximum de 20.05°C entre l'extérieur et l'intérieur. Quant à la maison "A", ils sont amortis d'un maximum de 5.55 °C. La chaleur absorbée et stockée dans le matériau dépend de l'inertie du matériau. C'est grâce à l'inertie du matériau que la durée du transfert de chaleur est retardée. La température de l'air intérieur dans la cellule "B" atteint 32.3°C, celle dans la cellule "A" n'est que 31.3°C. En effet, l'accroissement de la température de l'air intérieur et de surfaces dans la cellule "B" est justifié par l'exposition de la paroi au rayonnement direct qui pénètre à l'intérieur de la cellule.

Nous constatons également que, l'écart considérable qu'a enregistré la température de surface extérieure de la paroi "A" par rapport à celle de l'air extérieur, est dû essentiellement à l'ombre de l'écran végétal projeté sur la paroi. L'incorporation adéquate d'un mur recouvert de végétaux dans une enveloppe de bâtiment s'avère bénéfique du point de vue de la conservation de l'énergie, alors qu'elle améliore et régule de façon adéquate le microclimat autour de l'environnement bâti en neutralisant l'impact solaire.

### **c. Etude de la variation des températures entre les points d'écran végétal**

L'espace d'air entre le mur et le plante aide à changer la température du mur par convection. La figure suivante montre la variation de température avant et après le mur végétal.





**Figure 5.16 :** Variation de température entre les points d'écran végétal.

La figure montre que l'évolution des courbes de température moyenne entre végétal dans la cellule "A" atteint une valeur maximale de 37,2 ° C, d'autre part une augmentation remarquable de température avant l'écran végétal qui atteint une valeur maximale de 59 ° C. , La différence entre les courbes est de 21,8 ° C , cette valeur due à l'ombrage de l'écran végétal.

**5.9.1.2. Etude comparative entre la cellule " A ", " B " et la cellule " C "**

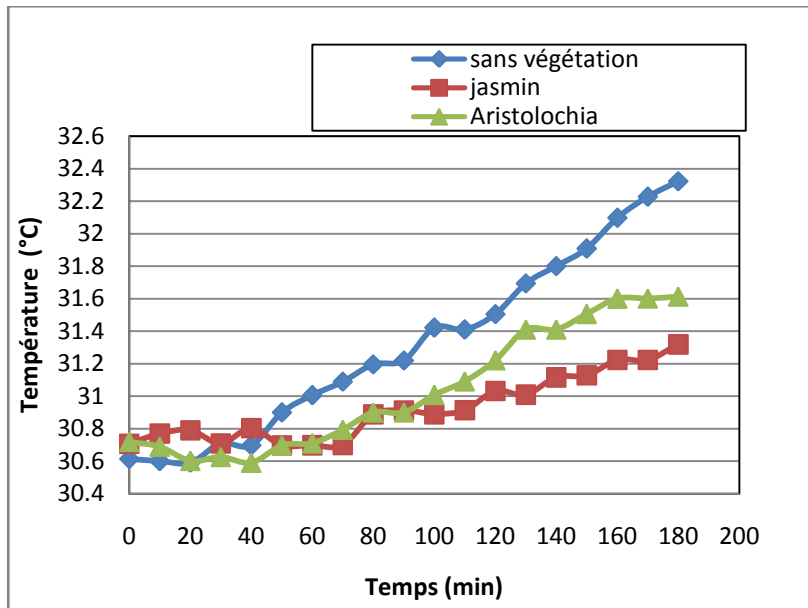
Les caractéristiques des cellules " A ", "B" et "C" sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau 5.3 :** Caractéristiques des cellules " A ", "B" et "C"

Récapitulation	
Cellule " A "	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mur nu</li> <li>• Epaisseur mur= 13 cm</li> <li>• Couleur paroi extérieure : Gris Mur</li> </ul>
Cellule " B "	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mur couvert par un écran végétal</li> <li>• Aristolochia</li> <li>• Epaisseur mur = 13 cm</li> <li>• Couleur paroi extérieure : Gris</li> </ul>
Cellule "C "	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mur couvert par un écran végétal</li> <li>• Jasmine</li> <li>• Epaisseur mur= 13 cm</li> <li>• Couleur paroi extérieure : Gris</li> </ul>

**a. Variation de températures intérieure dans les cellules " A ", "B" et "C"**

Dans cette partie, nous allons tester l'effet des deux types différents des plantes grimpanes. La différence entre eux est évidente dans l'épaisseur du papier et la densité de la propagation sur le mur, cela a conduit clairement à une différence significative de la température interne des cellules. La figure (5.17) représente la variation de température au sein des cellules " A ", "B" et "C".



**Figure 5.17 :** Variation de température intérieure dans les cellules "A", "B "et "C".

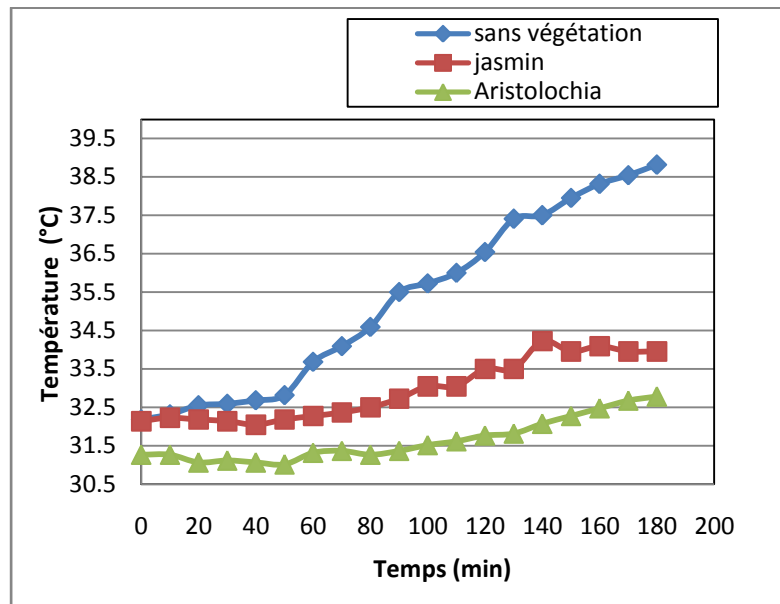
La figure montre que la courbe des températures de l'air intérieur dans la cellule "C" est au-dessous de celle de la maison "A", enregistrant un écart maximal de 0.4°C.

Ainsi, la différence entre les courbes montre la bonne performance thermique de l'Aristolochia dans la cellule "B", qui fournit une grand densité, une épaisseur et une plus grande répartition de Jasmin dans la cellule "C".

**b. Variation de températures surfacique dans les cellules "A", "B"et "C"**

La figure (5.18) indique la variation de température surfacique intérieure dans les cellules "A", "B" et "C".

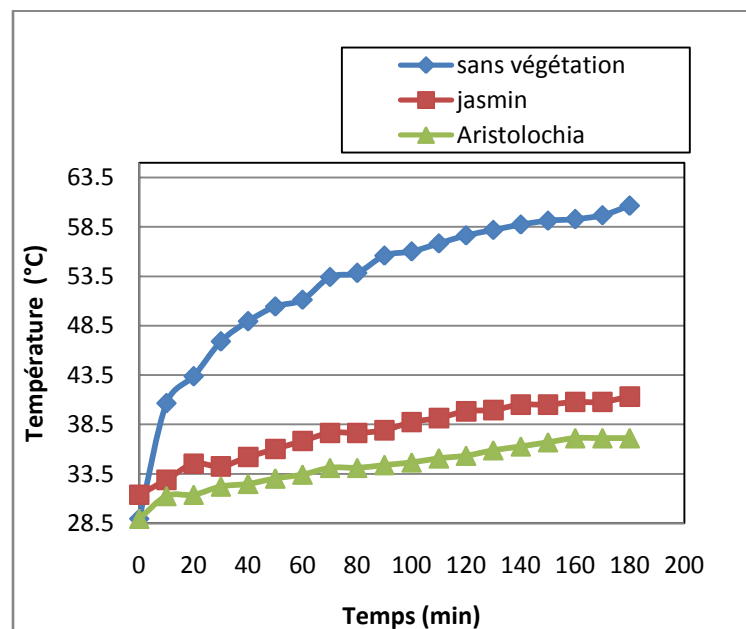
La courbe des températures surfaciques de la cellule "C" et celle la cellule "A" prennent toute la même allure. En plus les températures surfaciques augmente plus la température de l'air intérieur augmentent.



**Figure 5.18 :** Variation de température de surface intérieure dans les cellules "A", "B" et "C".

La valeur de la température est plus faible dans la cellule "B" que dans la cellule "C" de 1°C. Cette différence est due à la capacité de l'installation à absorber le rayonnement solaire et à réaliser une isolation thermique, en fonction des caractéristiques de chaque plante

La figure (5.19) indique la variation de température surfacique extérieure dans les cellules "A", "B" et "C".



**Figure 5.19 :** Variation de température extérieure dans les cellules "A", "B" et "C".

La température de surface extérieure de cellule "A" a une valeur maximale de 38,5 et la cellule "C" a des valeurs supérieures aux dernières valeurs d'un maximum de 3,75 ° C.

## Chapitre 5: Impact de la végétation sur le confort thermique des bâtiments

---

Sachant que les températures de surface externes des deux cellules ont été mesurées dans la face ombrée. Notons, par ailleurs, que la plante Jasmine ayant une faible épaisseur de feuillage ainsi qu'une densité foliaire inférieure à celle de la cellule "A", ce qui explique l'écart de températures enregistré.

### 5.9.1.3. Effet rapport de couverture des plantes dans la cellule "C":

L'échelle de l'influence des surfaces recouvertes de végétaux dépend de plusieurs paramètres. Tout d'abord, des facteurs tels que la couverture pourcentage, densité et largeur du feuillage des plantes qui couvre le bâtiment. Les surfaces ont une influence importante et leur étendue définit l'efficacité de la couverture végétale.

Dans cette section, la performance thermique de la cellule est évaluée, en prenant en compte l'orientation et la proportion d'une couche végétale par rapport à la surface totale du mur. Pour toutes les cellules examinées, qui correspondent à chaque point cardinal, Le pourcentage de couverture du feuillage varie de 0% à 80%.

Les caractéristiques des cellules " A ", "B" et "C" sont résumés dans le tableau suivant :

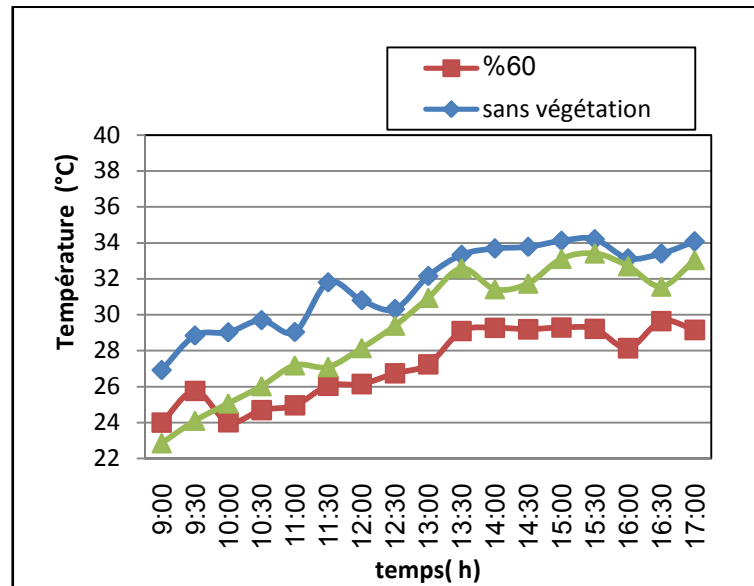
**Tableau 5.4 :** Caractéristiques des cellules " A ", "B" et "C"

Récapitulation	
Cellule " A "	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mur nu</li><li>• Epaisseur mur= 13 cm</li><li>• Couleur paroi extérieure : Gris Mur</li></ul>
Cellule " C "	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mur couvert par un écran végétal</li><li>• Jasmine (60%)</li><li>• Epaisseur mur = 13 cm</li><li>• Couleur paroi extérieure : Gris</li></ul>
Cellule "C' "	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mur couvert par un écran végétal</li><li>• Jasmine (80%)</li><li>• Epaisseur mur= 13 cm</li><li>• Couleur paroi extérieure : Gris</li></ul>

#### a. Variation de températures intérieures dans les cellules:

La figure (5.20) présente la variation de température de l'air ambiant et la température

intérieure de la cellule "A ", " C " et " C' " avec et sans végétation.



**Figure 5.20 :** Variation de température intérieure dans les cellules.

On remarque que la température interne maximale atteint 33,8 °C dans la cellule "C" le cas d'un mur qui comprend un pourcentage de couverture de 60%, les températures maximales sont plus basses dans la cellule "C' " le cas d'un mur qui comprend un pourcentage de couverture de 80%. En moyenne, la différence de température entre les deux est de 6°C.

Parmi les résultats ci-dessus, il devient clair que l'effet du rapport de couverture sur la température interne est plus important. Ainsi, en raison de leur impact significatif sur la réduction du rayonnement solaire, il semble que l'absence du mur végétal entraîne une augmentation de température élevée.

### **b. Variation de températures surfaciques intérieures et extérieures dans les cellules:**

La figure (5.21) présente la variation des températures surfacique intérieure dans les cellules "A ", " C " et " C' " .

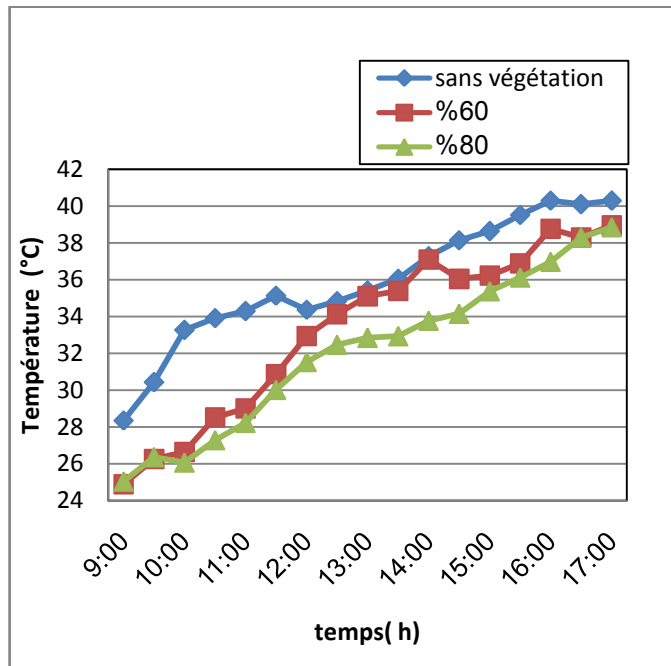


Figure 5.21: Variation de température de surface moyenne intérieure.

L'effet de la végétation sur l'abaissement de la température de surface interne de la cellule "C" semble logique, et la différence de température varie de 0,1 à 4,2 °C. Pour la cellule "C", la différence de température variait de 0,2 à 2,6 °C. Les valeurs moyennes de température dans la paroi interne et le côté environnant respectivement de 31,78 °C et de 31,58 °C. La température de surface interne dans les cellules contenant une plante grimpante est toujours inférieure à celle dans la cellule "A".

### 5.9.2. Effet de l'utilisation de toiture végétalisée

#### 5.9.2.1. Etude comparative entre la cellule " A " et la cellule " D "

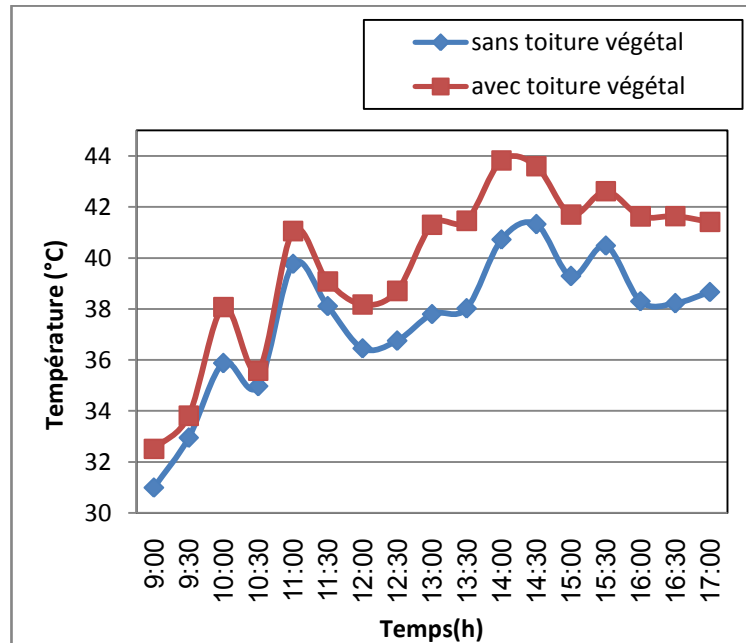
Les caractéristiques des cellules " A " et "D" sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 5.5 : Caractéristiques des cellules " A " et "D"

Récapitulation	
Cellule " A "	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mur nu</li> <li>• Epaisseur mur= 13 cm</li> <li>• Couleur paroi extérieure : Gris Mur</li> </ul>
Cellule " D "	<ul style="list-style-type: none"> <li>• une dalle de toiture végétalisées</li> <li>• Pourpier.</li> <li>• Rapport de couverture= 80%</li> <li>• Epaisseur culture = 5 cm</li> <li>• Couleur paroi extérieure : Gris</li> </ul>

### a. . Effet de toiture sur les températures intérieur des cellules "A" et "D"

La figure (5.22) représente la variation des températures de l'air intérieur des cellules .on montre que, la toiture végétale a diminué les températures de l'air ambiant à l'intérieur de la cellule D par rapport à la cellule A, tout au long de la journée.



**Figure 5.22 :** Variation de température intérieure dans les cellules "A" et "D".

On note une baisse moyenne par rapport à la cellule "B" de 0.7 °C, l'écart maximal entre les deux cellules atteint 1.5°C à (10 :30h) et l'écart minimal est de 0.2°C enregistré à l'après midi où le rayonnement solaire atteint une valeur maximale.

### b. Effet de toiture sur les températures surfaciques interne des cellules "B" et "D"

La figure (5.23), représentant la variation des températures surfacique intérieure dans les cellules " A " et " D " en fonction de temps pour la journée 05 juin 2013.

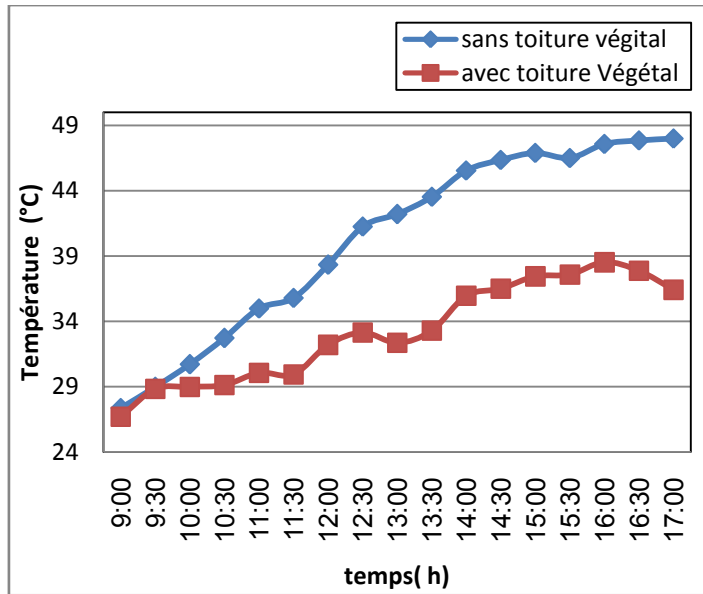


Figure 5.23: Variation de température surfacique interne de toiture végétalisée.

On remarque que la température intérieure surfacique dans la cellule "D" avec végétation est inférieure à la température de la cellule "A" sans végétation. On enregistre un écart minimal de 0.1°C et un écart maximal de 11.8°C à (17 :00h). la toiture végétalisée maintient encore de grandes différences de température sur la surface interne des deux cellules entre 12h30 et 17h00.

**c. Effet de toiture sur les températures surfaciques externe des cellules "A" et "D"**

La figure (5.24), représentant l'évolution détaillée des températures surfaciques externes des toits de la cellule D et de la cellule B.

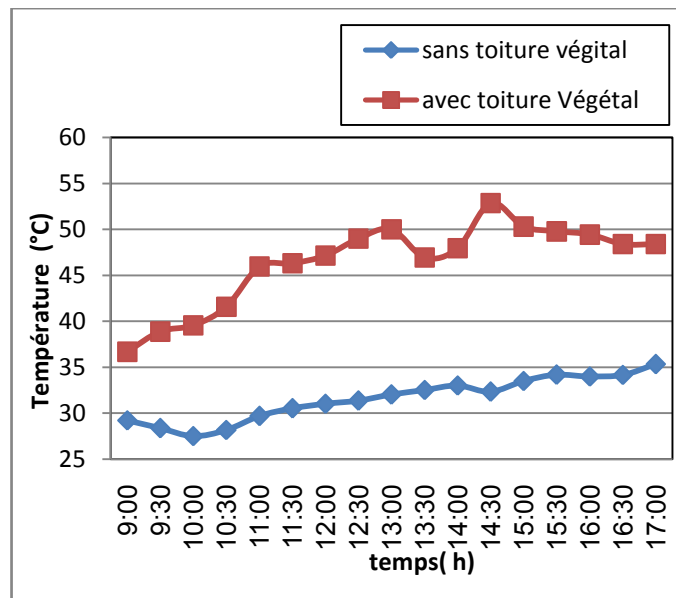


Figure 5.24 : Variation de température surfacique externe de toiture végétalisée.



La courbe de la cellule "B" montre que la surface externe de la dalle sous une toiture végétalisée surchauffe moins par rapport au toit de référence, tel que l'affirment Niachou et al (2001), Kanellopoulou (2008) et d'autres chercheurs. Les températures surfaciques externes du toit végétal varient d'une valeur minimale de 27°C à une valeur maximale de 35°C. Alors que celles du toit de référence sont étroitement liées à la variation de la température de l'air ambiant. Ces dernières surchauffent rapidement, variant de 36.4°C à 53°.

### 5.9.3. Mur avec Toiture végétal

#### 5.9.3.1. Etude comparative entre la cellule " A " et la cellule " E "

Les caractéristiques des cellules " A " et "E" sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau 5.6 :** Caractéristiques des cellules " A " et "E"

<b>Récapitulation</b>	
Cellule " A "	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mur nu</li><li>• Epaisseur mur= 13 cm</li><li>• Couleur paroi extérieure : Gris Mur</li></ul>
Cellule " E "	<ul style="list-style-type: none"><li>• une dalle de toiture végétalisées</li><li>• Pourpier.</li><li>• Rapport de couverture= 80%</li><li>• Epaisseur culture = 5 cm</li><li>• Couleur paroi extérieure : Gris</li><li>• Mur couvert par un écran végétal</li><li>• Jasmine</li><li>• Epaisseur mur = 13 cm</li><li>• Couleur paroi extérieure : Gris</li></ul>

#### a. Variation des températures dans les cellules "E" et "D"

La figure (5.25) montre l'évolution des températures de l'air à l'intérieur des cellules étudiées « E » et « D ».

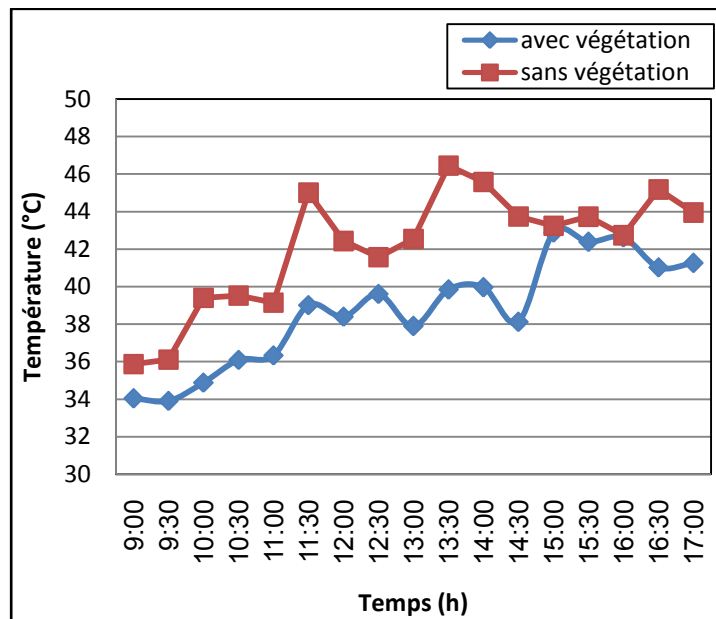


Figure 5.25 : Variation de température intérieure dans les cellules "A" et "E".

Les températures de l'air à l'intérieur est supérieure aux températures de l'air à l'extérieur, cette augmentation de température est due à l'effet de l'entrée thermique du matériau constituant de les cellules sans et avec végétation. Durant le déroulement de cette expérience, on remarque que l'orientation du soleil vers le mur East conduit à des valeurs proches de températures dans les deux cellules "A" et "E". Ceci est remarquable dans l'intervalle de temps compris entre [9h :00 à 13h :00] partir de 13h :00, On remarque qu'il existe une différence de température comprise entre [ $\Delta T_{\text{ma}} = 3.2^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta T_{\text{min}} = 0.1^{\circ}\text{C}$ ], cette variation est due aux effets multiples de végétation sur la cellule « E ».

**b. Variation des températures surfaciques intérieures dans la toiture de cellules "A" et "E"**

La figure 5.26 montre la variation des températures surfaciques internes au niveau des cellules étudiées avec végétation de la toiture.

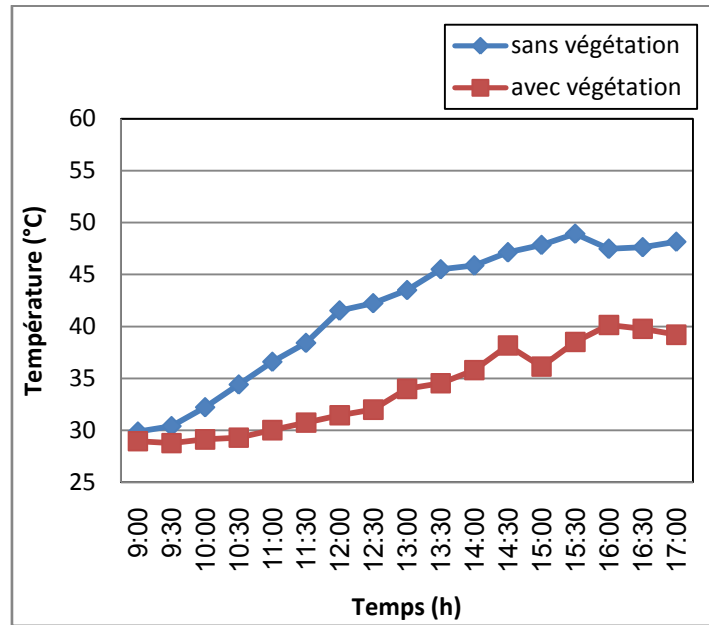


Figure 5.26 : Variation de température intérieure de cellule de toiture.

Les températures de surface interne croient lentement en fonction de temps jusqu'à la fin de l'expérience, elles atteignent une valeur maximale  $T=39.5^{\circ}\text{C}$  à  $t=17\text{h}:00$ . On constate que les températures intérieurs surfaciques de la cellule témoin sont inférieures aux températures de les cellules avec  $T_{\text{ma}}= 11.4^{\circ}\text{C}$  à  $15\text{h}:00$ . L'effet de diminution est expliqué par l'intégration de la végétation par plante (Kikuyu) dans la cellule (E).

**c. Variation de températures surfaciques extérieures dans le toiture de cellules "A" et "E"**

La figure (5.27) représente Les variations des températures surfaciques extérieures dans la toiture sans et avec végétation.

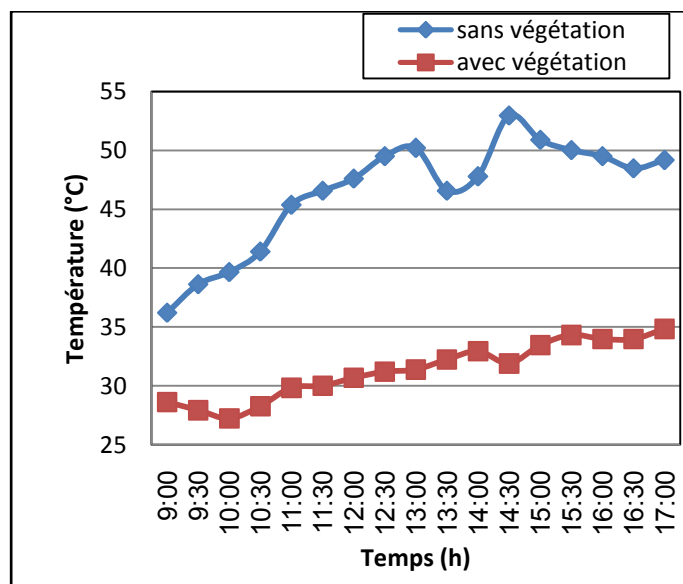


Figure 5.24 : Variation de température extérieure de toiture.

On remarque qu'il existe un écart très important de température durant la journée de l'expérience, cet écart compris entre  $[T_{\min}=5.2^{\circ}\text{C}, T_{\max}=19.3^{\circ}\text{C}]$ .

**d. Variation de températures surfacique intérieure dans le Mur de cellules "A" et "E"**

La courbe (figure 5.28) représente des températures intérieurs surfaciques de Mur (coté sud) au niveau des cellules sans et ave végétation.

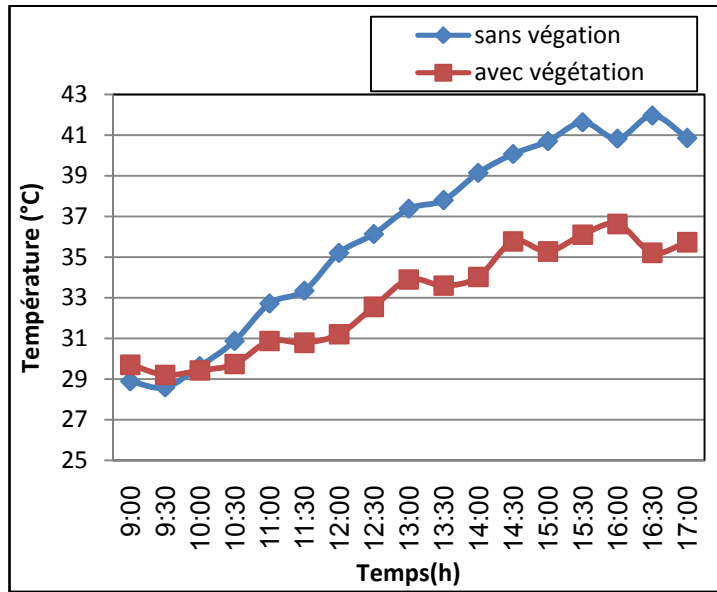
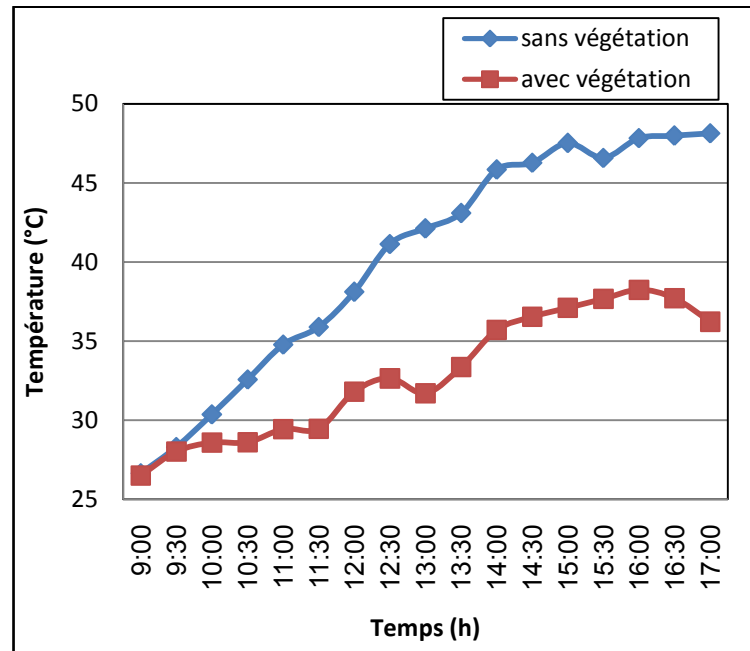


Figure 5.28 : Variation de température intérieure du Mur sud.

On remarque sur la courbe qui 'il existe un gradient de température entre les deux cellules, cet écart varie entre un écart maximal  $T=8.4^{\circ}\text{C}$  à  $t=16\text{h}:30$  et une valeur minimale  $T=0.1^{\circ}\text{C}$  à  $t=10\text{h}:00$ .

**e. Variation de températures surfaciques extérieures dans le mur de cellules "A" et "E"**

La figure (5.29) représente la variation des températures extérieure du Mur.



**Figure 5.29 :** Variation de température extérieure de Mur.

L'évolution des températures surfaciques du mur végétal de la cellule "E" diminue d'une façon rapide par rapport à l'évolution de la température du mur sans couverture par plante à l'extérieur de la cellule "A".

Pour la journée de l'expérience, les valeurs minimales, maximales des températures à l'extérieur du modèle expérimental sont respectivement [9.8°C, 4°C] dans l'intervalle de temps compris entre 13 h :00 et 9h :30 où la température de la surface externe atteint sa plus grande valeur qui correspond à un flux solaire maximum.

Nous avons effectué une campagne de mesures à une journée claire (26 Mai 2013) à 9h00 jusqu'à 17h00. Le but est de présenter les résultats des mesures et de simulation, sous forme de graphe, qui vont faire l'objet d'analyse et de comparaison.

### 5.10. Conclusion :

La végétalisation joue un rôle très important sur l'enveloppe des bâtiments et procure non seulement un ombrage mais, aussi, crée un microclimat bénéfique pour le confort thermique extérieur et intérieur.

A travers les chiffres présentés dans l'analyse climatique de la ville d'Ouargla, le climat de cette dernière apparaît comme aride avec un été sec et chaud. Durant les mois d'été où les températures sont très élevées qui et atteint une valeur maximale de 43.75°C l'humidité

## **Chapitre 5: Impact de la végétation sur le confort thermique des bâtiments**

---

relative est basse. L'expérience est basée sur une campagne de mesures qu'est effectuée chaque demi-heure. Plusieurs paramètres physiques ont été traités tels que : la température de l'air, les températures de surface, l'humidité de l'air.

Tous ces résultats, révèlent que la densité, l'épaisseur et le rapport de couverture du feuillage ainsi que la typologie ont un effet significatif sur le comportement thermique du mur et jouent un rôle prépondérant dans l'amélioration du confort intérieur.

# **Chapitre 6**

## **Contribution de la morphologie des bâtiments sur le confort thermique**

### **6.1. Introduction**

Se protéger des rigueurs du climat a été, toujours, recherché par l'homme en créant à l'intérieur de son abri des conditions relativement confortables. L'adaptation de l'habitat à l'égard du rayonnement solaire et des facteurs climatiques en général se fait de manière naturelle.

L'objectif de ce chapitre est l'analyse du bilan énergétique des bâtiments sur différentes formes, rectangulaire; forme "L"; forme "T"; forme "U"; forme "Z à angles droits" et forme plus "+" en calculant juste la consommation d'énergie due à la climatisation en période estivale afin de trouver les dépenses en terme économique puis la comparaison au coût de construction suivant chaque forme d'elles pour qu'on trouve la forme optimale ayant le coût le moins cher et en même temps consomme le moins d'énergie.

### **6.2. Impact du climat sur la forme des maisons**

Il est dorénavant reconnu que les décisions prises durant les phases initiales de conception architecturale produisent l'impact le plus important sur la performance énergétique d'un bâtiment. Un bon choix de forme et d'orientation pour un bâtiment peut entraîner une réduction atteignant jusqu'à 40% de sa consommation énergétique (RuanoM,2007).

(Bellara S,2005) qui a fait une recherche sur le climat de Constantine; a trouvé qu'un gain de 45% d'énergie peut être mis en jeu si on choisit l'Est ou l'Ouest comme orientation principale pour le bâtiment.

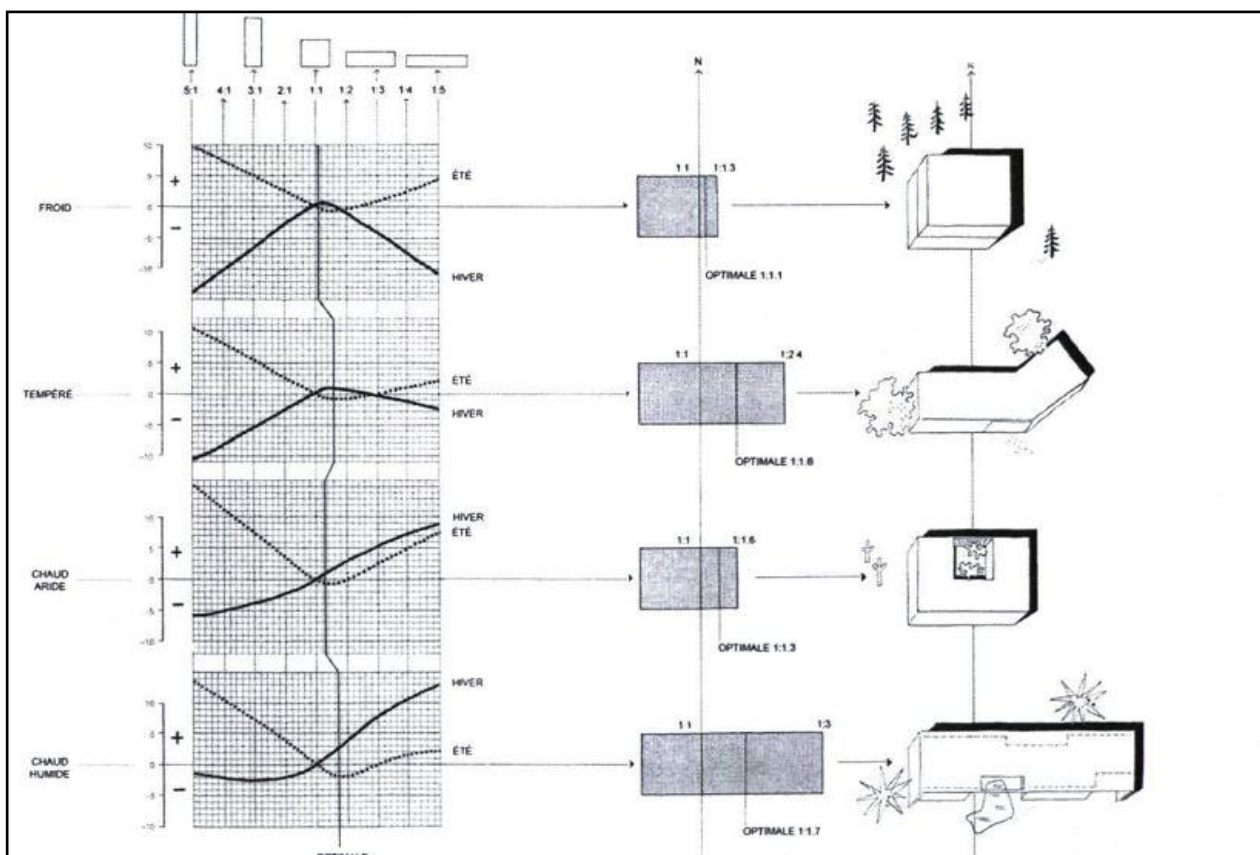
Les premiers chercheurs qui se sont intéressés à la forme architecturale dans une perspective d'optimisation de l'énergie et des ressources sont Olgyay (1963) ainsi que Martin et March(1966). Olgyay a développé une approche bioclimatique qui considère le rapport entre la forme du bâtiment et le climat (Figure.6.1). (Esteban Emilio Montenegro Iturra, 2011)

L'observation des forces créant la forme de la maison d'une manière théorique nous a montré que le climat est l'un des aspects physiques qui participe à l'élaboration de la forme des constructions. L'abri est d'une importance suprême pour l'homme, il tient la première place dans son combat incessant pour la vie. Dans ses efforts pour se protéger des variations du temps et des saisons, il a élaboré au cours des temps de nombreux types de logements (Esteban I, 2011). Mais, dans certains cas on a découvert des solutions non rationnelles du point de vue climatique, ce qui nous suggère qu'il doit y avoir d'autres forces à l'œuvre, par exemple les croyances religieuses, les exigences virtuelles et les questions de prestiges, alors notre étude se porte sur l'évaluation du rapport entre la forme des maisons et le climat.



## Chapitre 6: Contribution de la morphologie des bâtiments sur le confort thermique.

L'adaptation de la forme des constructions aux conditions climatiques est devenue un problème continu, elle est considérée comme étant un intermédiaire entre l'univers naturel et l'homme; cette définition relève principalement du concept d'abri climatique, l'habitation, l'enceinte thermique, le lieu d'échange entre les flux internes et externes est donc un échangeur thermique entre l'homme et les conditions climatiques extérieures. Son rôle est de minimiser les effets non désirables et de favoriser les effets convenables pour le confort des occupants. En effet, la relation envisagée entre le climat et la forme dépend de la nature des enveloppes, de l'implantation et des groupements (Berwstein D,1997).La complexité de cette relation peut avoir une incidence sur la quantité des pertes ou des gains d'énergie calorifiqueet surtout sur le besoin en cette énergie.



**Figure.6.1 :** Les formes optimales proposées par Olgay pour les 4 types de climats : froid, tempéré, chaud aride et chaud humide (Montenegro E, 2011).

Les maisons construites naturellement utilisent des matériaux locaux, traités au minimum, qui sont prolifiques et/ou renouvelables. Ces matériaux sont élaborés pour convenir au climat et à la géographie, et offrir un abri modeste conçu pour durer des siècles. Idéalement, ils sont – et la manière dont ils sont habités – en équilibre et harmonie avec leur environnement.

## **Chapitre 6: Contribution de la morphologie des bâtiments sur le confort thermique.**

---

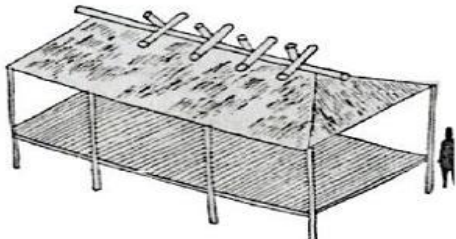
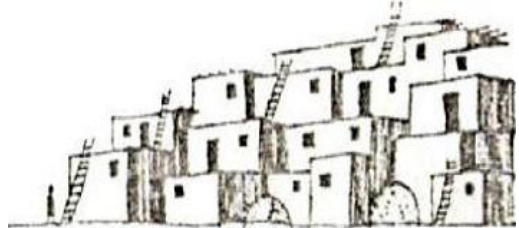
Les ressources utilisées pour les construire sont, soit tellement abondantes, que l'impact de leur utilisation n'est pas significatif, ou alors ils sont facilement remplacés pendant le temps de vie du bâtiment.

Cette collection montre des maisons construites de manière naturelle et des bâtiments publics sous différents climats qui utilisent une sélection de techniques de construction et de matériaux naturels.

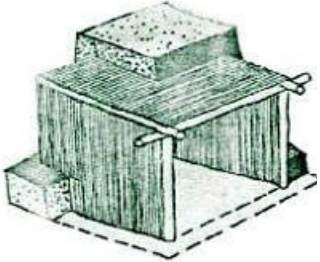
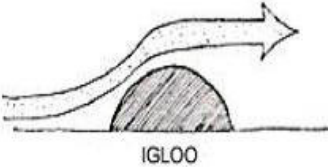
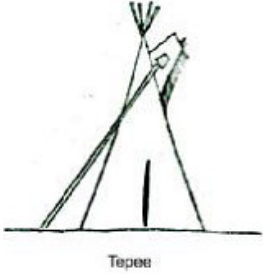
Dans de nombreuses parties du monde, les connaissances et savoir-faire traditionnels utilisés pour construire des maisons naturelles ont été, ou sont en train de se perdre, comme les peuples deviennent dépendants d'une industrie qui généralement utilise des matériaux traités et non-locaux. Les maisons naturelles sont souvent construites avec la connaissance et l'expérience d'une communauté qui leur est très favorable. Le tableau suivant représente des maisons traditionnelles dans différents climats..

## Chapitre 6: Contribution de la morphologie des bâtiments sur le confort thermique.

**Tableau 6.1 :** Exemple sur des maisons traditionnelles dans différents climats (Zeroual D.,2006).

Climat	Chaud et humide	Chaud et aride
<b>Besoins</b>	Ces régions sont connues avec de fortes pluies, grande humidité, des faibles écarts journaliers de température et un rayonnement intense, on a besoin du maximum d'ombre, de ventilation et du minimum de capacité thermique (Konya A, 1981).	Les caractéristiques spécifiques à ces régions sont déjà définies dans le Chapitre I, les besoins essentiels sont la protection contre les hautes températures journalières et l'intensité de la radiation solaire
<b>Exemples</b>	 <p data-bbox="629 938 1200 970">Maison seminole Floride (Rapopor A,1972).</p>	 <p data-bbox="1346 882 2051 951">Compacité des habitations faites d'un seul matériau au Sud Ouest des Etat-unis (Rapopor A,1972).</p>
<b>Caractéristiques de la maison</b>	Des groupement dispersés, des bâtiments ouverts (pas de murs) avec une enveloppe longue et étroite, des matériaux minces à faibles capacités thermiques, le sol est généralement élevé par rapport à la terre.	Des enveloppes géométriques aussi compactes que possible. Un maximum de volume avec des surfaces minimum exposées. Des matériaux lourds à forte capacité thermique. De petites ouvertures pour l'aération et l'éclairage. Des cours intérieures protégées.

## Chapitre 6: Contribution de la morphologie des bâtiments sur le confort thermique.

Climat	Froid		Tempéré
<b>Besoins</b>	Ces régions sont caractérisées par un froid externe, donc une bonne conservation de la chaleur est essentielle.		Des pluies très importantes avec des vents qui soufflent souvent d'une vitesse gênante, une bonne protection est donc recommandée.
<b>Exemples</b>	 <p data-bbox="562 930 913 1034">Maison sibérienne faite de bois et de terre(Rapopor A ,1972).</p>	 <p data-bbox="981 930 1413 1002">Effet du vent sur l'Igloo(Rapopor A ,1972).</p>	 <p data-bbox="1462 895 2018 967">Tepees Indiens avec des languettes pour le contrôle du vent(Rapopor A ,1972).</p>
<b>Caractéristiques de la maison</b>	Des enveloppes compactes, sont créées dans le sol et construites avec des matériaux lourds, avec un minimum de surfaces exposées.	Les eskimos utilisent de petites formes demi sphériques pour déflécter les vents froids.	L'organisation des groupements est libre diversifiée et dispersée, la forme de la maison est conique et construite généralement avec des matériaux légers qui ne préservent pas la chaleur pour les protéger du vent, ces tentes sont munies de languettes pour le contrôle du vent.

Dans les régions arides, le gain de chaleur à travers les murs est la principale cause de la surchauffe pendant la période chaude. (Bekkouche S.M.A, 2014) a effectué une étude sur l'influence de l'enveloppe des bâtiments sur la température interne à l'aide de matériaux de construction locaux. Le principal objectif est de déterminer la température de bâtiment mentionné avec diverses configurations de mur extérieur. Ce travail prouve qu'une enveloppe de bâtiment optimisée prend en compte les propriétés thermiques et les matériaux de construction. Les concepts majeurs de rénovation thermique sont basés sur la composition du mur en particulier sur le calcul des murs des résistances thermiques. Dans la littérature, les valeurs de résistance thermique des espaces aériens sont très différentes. À cet égard, d'autres facteurs doivent être pris en considération dans ces mesures telles que la mobilité de l'air dans toutes les parois d'éléments qui contribue comme un effet isolant. En effet, la simulation numérique permet d'économiser beaucoup de temps et d'effort en termes de calcul et a montré que la position horizontale de la brique creuse donne les meilleurs résultats. Dans ce sens, une enveloppe de bâtiment, comme une source d'énergie passive, peut être considérée comme facteur critique. En conclusion, pour atteindre un meilleur confort thermique dans les zones arides et semi arides, une nouvelle configuration du mur a été proposée, elle permet d'améliorer l'isolation thermique de l'enveloppe tout en éliminant les ponts thermiques.

Il a montré que les gains de chaleur à travers les murs sont certainement la principale cause de surchauffe dans ces types d'habitat. Les pare soleil utilisés comme protection devront couvrir tous les murs extérieurs du logement : le toit, les murs et les fenêtres. C'est une étape importante dans la conception bioclimatique. Par conséquent, la réalisation d'une protection solaire efficace est la deuxième phase fondamentale de la conception. En ce qui concerne les régions arides, la brique creuse fournit le meilleur compromis du confort thermique comparée à la pierre. Il doit constituer le renforcement de l'isolation thermique de l'enveloppe extérieure. L'isolation thermique améliore l'efficacité énergétique des bâtiments, ce qui réduit la production des gaz à effet de serre, et ceci peut être considéré comme contribution pour atténuer l'effet des changements climatiques. Avec l'augmentation de la sensibilisation à l'environnement, l'accent est désormais mis davantage sur des moyens d'économie d'énergie dans tout bâtiment, domestiques ou commerciaux.

### **6.3. La forme des bâtiments dans les climats chauds et arides**

L'étude de la forme des habitations dans les climats chauds et arides peut nous apporter des connaissances énormes sur l'adaptation des maisons aux conditions climatiques

(Malek A, 2002), comme elle peut nous apprendre de traduire en terme de perception thermique nos volumes de construction, ceci peut nous aider à évaluer l'impact réel de nos projets une fois réalisés sur terrain, dans la mesure où les exemples choisis seront illustrés, étudiés et simulés pour les développer et les améliorer. Le concepteur est ainsi amené à concevoir et développer des volumes capables d'optimiser l'ombrage, de minimiser le captage solaire et le transfert de chaleur; à ce titre il faut souligner qu'il n'y a pas de listes précises des formes performantes.

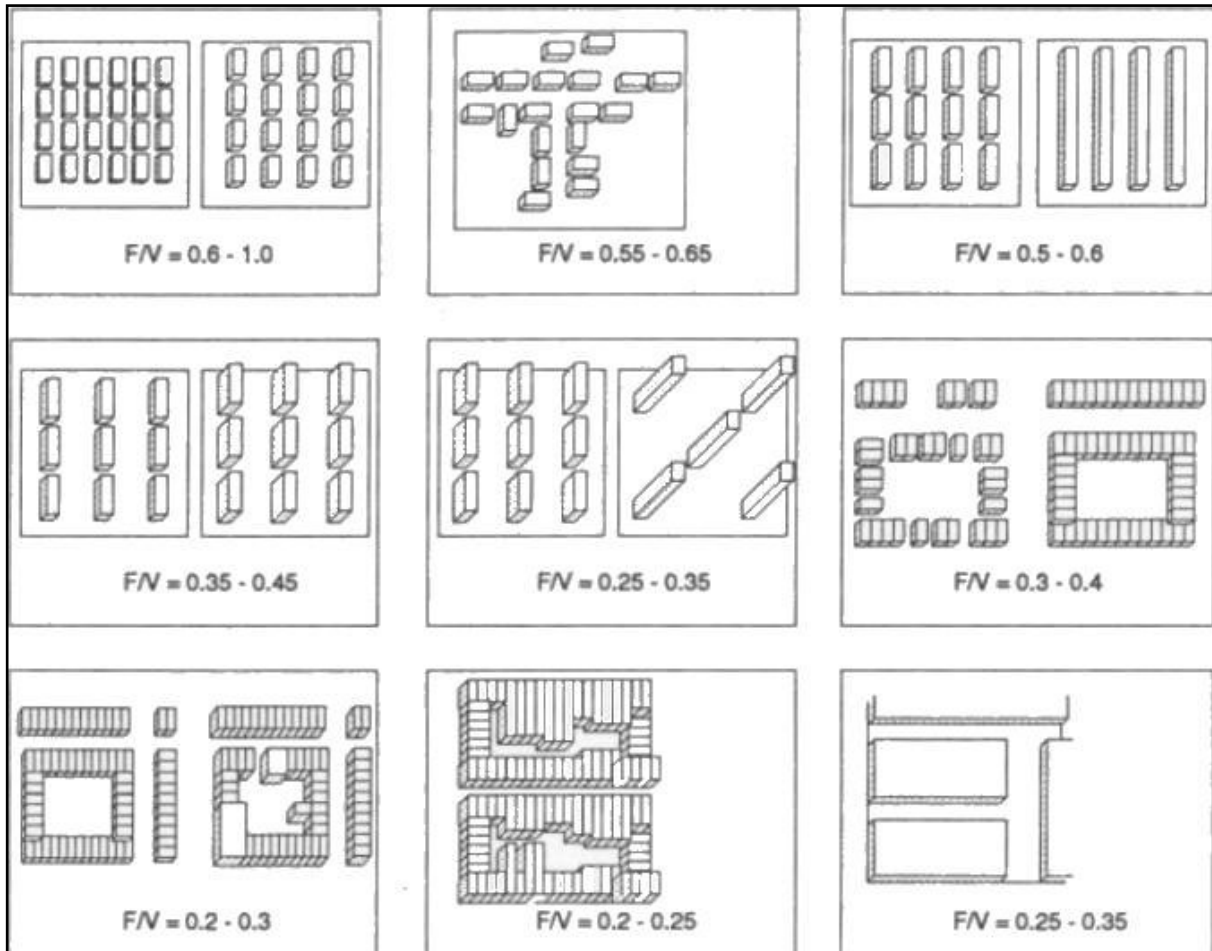
On essaye d'analyser la performance thermique de quelques formes afin de définir des concepts générateurs de formes adaptées aux conditions climatiques significatifs. On a remarqué à travers les constructions traditionnelles que le climat et les conditions qu'il implique étaient pris en considération en les évitant ou en les exploitant tant au niveau des composants de la construction qu'au niveau de la morphologie globale des bâtiments (Arthur B, 1988). En réaction contre cette tendance, nous essayons d'examiner concrètement des types de maisons propres aux régions d'étude pour confirmer ou infirmer l'adaptation de quelques formes aux conditions climatiques d'été. Nous tenterons par la suite le développement, l'optimisation et l'amélioration des types de formes identifiées afin de créer plusieurs possibilités d'innovation et d'intégration des volumes à l'architecture des régions à climat chaud et aride, tout en ayant des formes géométriques, des rapports de proportions définis selon le fonctionnement passif de nos futures maisons.

La solution envisagée est donc une remise en question des enveloppes architecturales liée à la reprise de conscience de l'influence du climat sur le confort thermique et la modernisation de la production des formes par la recherche des volumes à forte réflexion de la radiation solaire.

De façon générale, il existe à travers la morphologie des constructions vernaculaires de configurations géométriques telles que le cube, le tour, le massif, les calottes sphériques à parois courbe. Ces dernières sont susceptibles d'être performantes et peuvent être intégrées comme parois ou toitures dans l'enveloppe des maisons. Enfin, ce système de rentabilité d'énergie et d'amélioration des performances par la recherche volumique serait certainement mieux adapté au concept d'architecture solaire, le volume architectural est en effet conçu en tenant compte des conditions climatiques des régions concernées.

Par exemple; pour un climat froid et là où on cherche à chauffer plus que de rafraîchir, (Goulding J, 1992) est arrivé à ce que le principe de base dans le choix de la forme du bâtiment est la capacité de maximiser l'énergie solaire reçue et de minimiser les pertes de

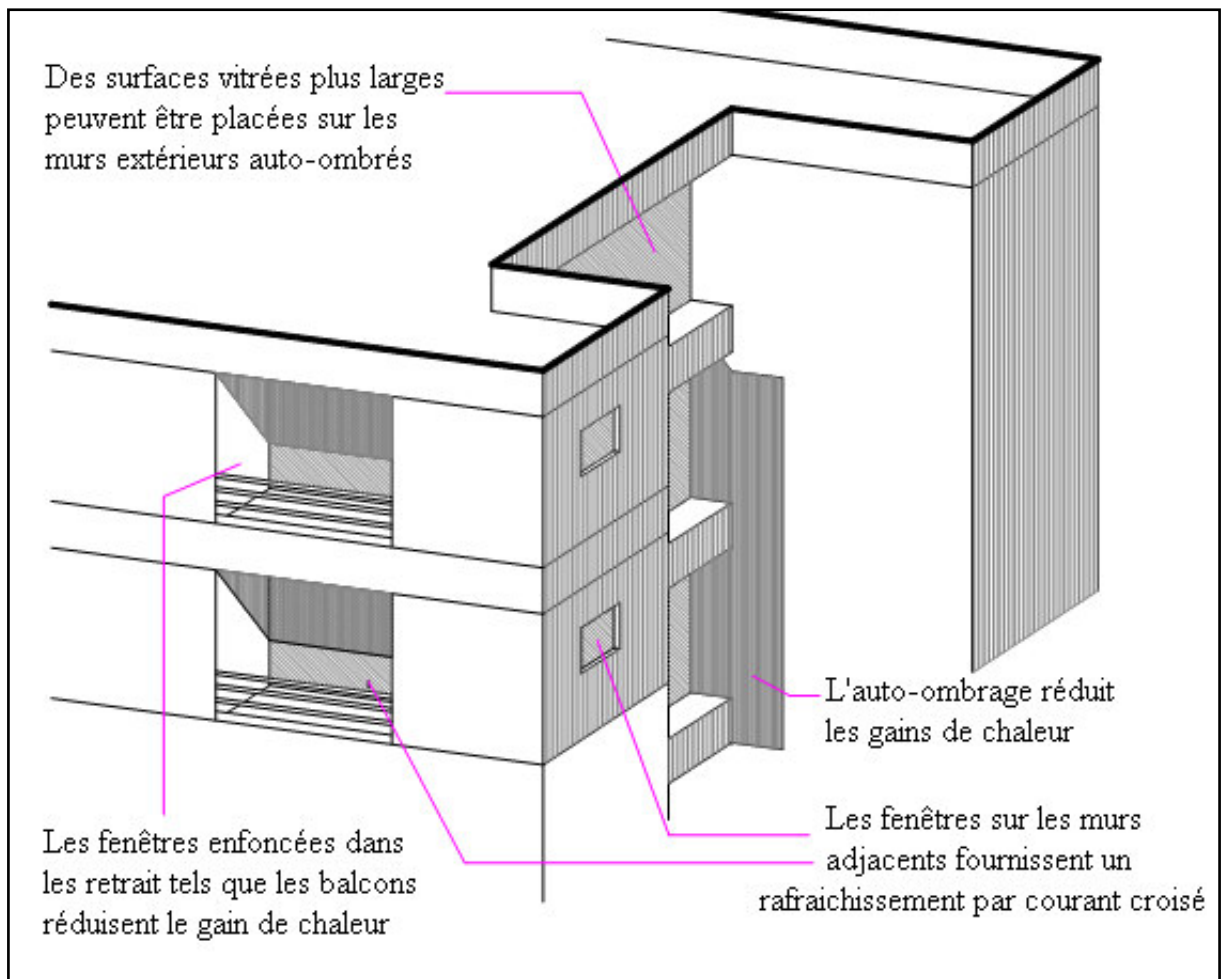
chaleur à travers l'enveloppe (figure. 6.2). De nombreux facteurs affectent la forme des bâtiments tels que le plan, le type du bâtiment et son utilisation, de la faisabilité et du coût initial. Dans tous les cas, il y a une grande influence sur la réduction du flux énergétique du bâtiment, (Miller, 2008).



**Figure 6.2** : Différentes dispositions des bâtiments suivant le rapport surface/volume (F/V).

La figure 6.2 récapitule les essais de (Goulding, 1992) et ses collaborateurs en 1992, ils ont fait varier le plan de disposition des bâtiments les uns par rapport aux autres en calculant le rapport de surface sur le volume (remarquer qu'ils utilisaient la lettre F pour signifier la surface et V pour le volume). Ce rapport est utilisé comme indice durant l'étude. Puis ils étudiaient le comportement de chaque plan envers les gains de chaleur.

En outre, certaines formes comme type H ou type L peuvent fournir l'auto-ombrage des surfaces et qui peut diminuer le rayonnement solaire direct (NayakJ, 2006). La figure suivante décrit les différents aspects physiques dont les gains thermiques sont influencés, suivant la configuration de la forme du bâtiment, dans les climats chauds.



**Figure 6.3 :** Aspects de la forme du bâtiment pouvant réduire le gain de chaleur en climat chaud (NayakJ, 2006).

L'auto-ombrage du bâtiment dépend généralement de la forme du bâtiment et de l'arrangement ou de la disposition des bâtiments (Chan, 2012). Aussi, la forme du bâtiment influe sur la circulation de l'air et le mouvement du vent, et sur les possibilités d'améliorer l'utilisation de la lumière du jour (Goulding J,1992).

En règle générale, les variables de géométrie dont la longueur, la hauteur et la profondeur contrôlent généralement les valeurs objectives telles que la superficie et le volume du bâtiment (Yi, 2009). Les constructions ayant une surface bâtie plus grande, sont moins efficaces, par contre celles à grand volume ont tendance à avoir plus d'efficacité. Les bâtiments les plus longs et moins larges ont aussi plus d'efficacité énergétique. Selon (Capelluto,2002), les formes géométriques à auto-ombrage sont les meilleures solutions pour améliorer la performance énergétique des bâtiments. Selon (Lam, 2005), le flux de chaleur à travers l'enveloppe du bâtiment est proportionnel à la surface totale brute des murs extérieurs. La configuration auto-protégée est l'un des moyens possibles contre l'impact du rayonnement



solaire dans les bâtiments de grande hauteur, c'est clair que dans ces stratégies, l'insolation sur les surfaces verticales est réduite (Nikpour, 2011).

La géométrie des bâtiments peut affecter les conditions de microclimat, dans la canopée urbaine des espaces ouverts, de voies urbaines et les cours qui jouent un rôle important dans le climat global de la ville (Shashua-Bar, 2004). La relation entre la hauteur de l'immeuble et la largeur de la rue influe sur l'ombrage au niveau de la rue pendant la journée qui a un effet secondaire sur le refroidissement nocturne et la ventilation naturelle la nuit qui est limitée avec des valeurs élevés de ce rapport (Krüger, 2010).

La forme et le volume des bâtiments devraient être compacts, mais un peu allongés le long de l'axe Est-Ouest, parce que les bâtiments longs et compacts gagnent moins de chaleur. Sous des conditions hivernales, l'idéal est une forme allongée, dans des conditions estivales la forme carrée est meilleure. Une cour dans la maison est toujours préférable. Les maisons mitoyennes, les maisons en rangée et les groupes de maisons (tous sur le long de l'axe Est-Ouest), ont tous tendance à créer un effet de volume, ils sont avantageux (Paul G, 1993).

Les variables qui sont liés à la forme du bâtiment et qui influencent les exigences en matière de chauffage et de refroidissement sont les suivants : facteur de compacité, la hauteur des murs, le climat et les caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment. Ces caractéristiques ont des effets importants sur les besoins énergétiques de maintien du bâtiment à une température confortable. (Bekkouche S.M.A, 2013) présente une nouvelle approche pour la description et la modélisation de bâtiments en climat aride. Par conséquent, il a utilisé la méthode nodale thermique pour appréhender le comportement thermique d'air soumis à divers types de sollicitations. Le résultat prouve que l'utilisation appropriée du facteur de forme peut minimiser l'énergie consommée dans les bâtiments et améliorer la température interne.

La compacité d'un bâtiment, indiqué par le ratio  $S/V$  ( $S$  : zone de surface d'enveloppe de bâtiment,  $V$  : volume du bâtiment) a une influence considérable sur la demande d'énergie de chauffage de bâtiments. Cette étude fournit une méthode d'analyse simplifiée pour prédire l'impact de la forme (facteur forme) pour un bâtiment sur sa température instantanée. Un modèle proposé a été développé basés sur des analyses de simulation détaillé utilisant plusieurs combinaisons de la géométrie, de l'orientation, du niveau d'isolation thermique, du type de vitrage et du climat. Cette étude s'intéresse à l'importance de ce facteur sur le besoin énergétique d'un bâtiment en climat chaud. Les résultats de cette étude indiquent que les paramètres de géométrie doit être examinée avec soin lors de la conception de bâtiments. Le

meilleur choix permet de minimiser l'énergie des bâtiments et améliorer la température interne.

### **6.4. Orientation dans le climat chaud et arides**

(Givoni,1969) a souligné que la quantité de rayonnement reçue par le bâtiment est déterminée par l'orientation. (Karasu,2010) a montré que l'orientation a une grande influence sur le gain frigorifique (refroidissement). Dans les zones où le confort est acquis principalement par le courant d'air (les vents), il est important d'orienter le bâtiment suivant les vents dominants. En régions où la température ambiante a plus d'influence sur le confort, l'orientation par rapport au soleil est importante. Une orientation Nord-Sud de la façade principale est préférable, car le soleil d'été pénètre par les ouvertures légèrement dans ces directions, tandis qu'en hiver, lorsque le soleil est plus bas, il reste la possibilité que les rayons solaires aient accès(Hans R, 2000).

(John R Goulding,1992)a trouvé qu'une zone située au coin haut Nord-Ouest gagne plus de chaleur qu'une zone au milieu et plein Sud, et ça peut être le double. Alors, ils ont recommandé d'orienter les bâtiments tels que la façade la plus longue soit au Sud (Huda M, 2012).Une fenêtre bien placée et orientée peut améliorer le confort intérieur pendant l'hiver. La protection solaire est importante surtout vers l'ouest où le soleil d'après-midi coïncide avec des températures élevées de l'air et pour capter les vents afin de refroidir, on peut bien orienter les ouvertures ou même utiliser des moyens spéciaux(Hans R, 2000).

Dans les régions arides, l'orientation des bâtiments, l'isolation thermique ont une influence importante sur la température de l'air intérieur. Le principal objectif des travaux de l'auteur (Bekkouche S.M.A, 2011) est de minimiser les températures intérieures par ces deux techniques.Il vise également à évaluer les données géographiquesqui peuvent amortir le rôle de l'inertie thermique, et offrant ainsi une variante de résultats

Avec cette étude, il peut utiliser l'avantage optimal du soleil pour le chauffage ou le refroidissement solaire passif. L'effet d'orientation d'un bâtiment climatisé sur ses performances thermiques ont été analysées en termes de température pour un climatsec. Il a montré que les gains de chaleur à travers les murs et les ouvertures sont certainement la principale cause de surchauffe dans ces types d'habitat. Mais les pare soleil devrait couvrir tous les murs extérieurs du logement : le toit, les murs et les fenêtres. C'est une étape importante dans la conception bioclimatique.

## Chapitre 6 : Contribution de la morphologie des bâtiments sur le confort thermique

Les bâtiments sont mieux disposés en groupes du point de vue de la chaleur absorbée, l'ombre et de la protection des façades Est et Ouest. La protection solaire est particulièrement importante lorsque la différence de température de l'air intérieur dépasse les 3°C entre la meilleure et la mauvaise orientation durant les heures de canicule. En général, la meilleure orientation est le Nord-Sud avec 25° Sud-Est. Les murs et les fenêtres des façades principales doivent faire face à la direction dominante des vents frais afin de permettre le rafraîchissement des chambres par courants croisés (Paul G, 1993).

### 6.5. Description du travail













#### 6.5.1. Les formes de l'enveloppe proposées pour l'étude

Le coefficient de forme, ou de compacité, mesure le rapport de la surface de l'enveloppe au volume habitable (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>). Il permet de qualifier les volumes construits en indiquant leur degré d'exposition aux conditions climatiques ambiantes.

En effet, dans les climats tempérés, les déperditions thermiques des bâtiments dues aux différences de température entre l'ambiance intérieure (stable) et les conditions extérieures (variables), se font principalement par conduction au droit de l'enveloppe du bâtiment. Il s'ensuit que, pour un même volume, les déperditions seront plus importantes à mesure qu'augmente la surface de l'enveloppe, dite surface déprédative. Par conséquent, l'architecte cherche à minimiser la surface de déperdition tout en maximisant l'enveloppe, ce qui se traduit par une faible compacité.

Les formes proposées sont montrées sur le tableau 6.2. Le choix des formes et de leurs dimensions a été fait à partir de la documentation profonde des travaux précédents.

**Tableau.6.2 :** Différentes formes des bâtiments étudiées.

Les formes	Rectangle	Forme L	Forme T	Forme plus	Forme Z droit	Forme U
Perspective						
Plan						

### 6.5.2. Les critères suivis dans le choix

Les critères de choix sont résumés comme suit:

- Le degré de compacité des formes : plus la construction est compacte plus elle est meilleure.
- L'aspect morphologique de la forme (la géométrie) : Ils existent beaucoup de formes géométriques utilisées en construction, mais certaines ne conviennent avec certaines applications. On a choisi ces formes pour le type des constructions résidentielles, et on a comparé avec les formes qui existent déjà dans les zones étudiées.
- rapport des dimensions - proportions : Selon ce qui précède, on devrait prendre en considération les rapports des dimensions (la hauteur, la largeur et la profondeur) de façon que le bâtiment ne soit pas long ou très élevé (figure 6.4).

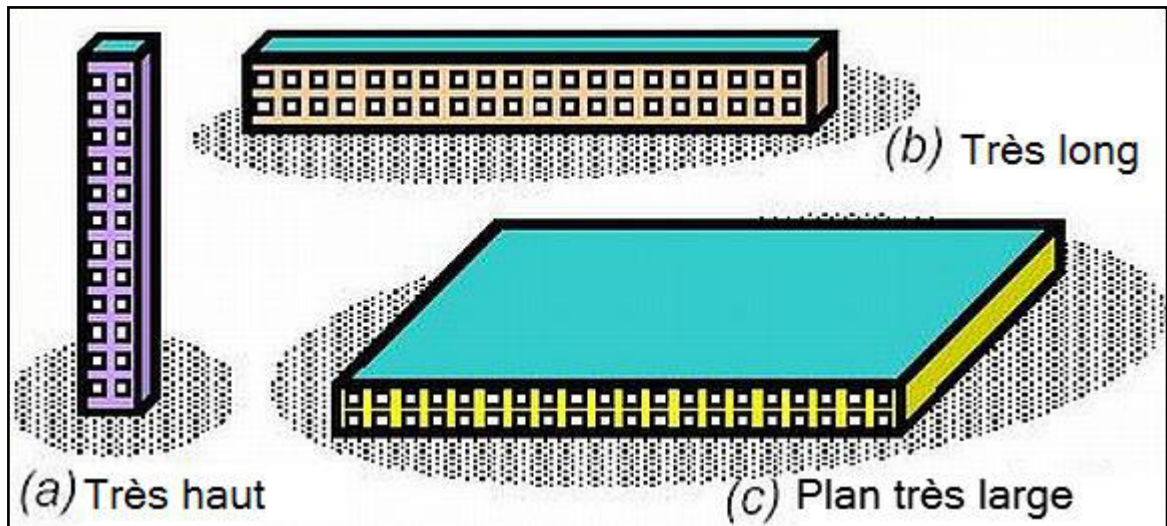


Figure 6.4 : Quelques formes à éviter dans la construction (Mohsen R, 2011).

- Le rapport surfaces extérieures au volume (facteur de forme " $C_f$ "): Selon les études bibliographiques, un facteur forme réduit est toujours préférable (Bichoui Y, 2011 ; Vasco G, 2013 ; Abohela I, 2013).

### 6.5.3. Les régions choisies pour la simulation

#### 6.5.3.1. Ouargla

##### a. Données géographiques

La wilaya de Ouargla est située au Sud-est Algérien, elle est distante de 800 km de la capitale Alger. Elle couvre une superficie de 163 323 km<sup>2</sup>. Elle est limitée au Nord par les

## Chapitre 6 : Contribution de la morphologie des bâtiments sur le confort thermique

wilayas de Biskra et d'El Oued au Sud par les wilayas d'Illizi et Tamanrasset à l'Ouest par les wilayas de Ghardaïa et Djelfa et à l'Est par la Tunisie Figure (6.5).

La ville de Ouargla est située à 128 mètres d'altitude, à 190 km à l'est de Ghardaïa, 160 km au sud-ouest de Touggourt, 388 km au sud de Biskra. Elle est peuplée de 210 175 habitants. (Ghedamsi R, 2013)



Figure 6.5 : Situation géographique de Ouargla.

### b. Données météorologiques

La température moyenne annuelle est de 16,54°C; avec 36,13°C pour le mois le plus chaud (Juillet) et 12,11°C pour le mois le plus froid (Janvier). La température la plus élevée est 49.6°C au 15 Juillet pour l'année 2012. La température la plus basse est 0°C le 11 Janvier. L'humidité relative enregistre des taux allant de 25,3 à 66,2 %, alors que l'évaporation est très importante. La moyenne annuelle est de l'ordre de 276,89 mm. Les précipitations sont rares et irrégulières et varient entre 0,22 mm et 17,1 mm par an (Ghedamsi R, 2013).

Les vents dominants sont ceux de N/NE et S/SE avec une vitesse pouvant atteindre 4.85m/s et parfois dépasser 20 m/s. Le sirocco vent chaud et sec peut être observé tout au long de l'année. En 2012, la vitesse maximale du vent enregistrée est de 70.2 km/h le 15 Juillet.

### c. Données architecturales

## Chapitre 6 : Contribution de la morphologie des bâtiments sur le confort thermique

L'intervention de l'état a contribué à la construction d'un nombre de logements suffisant, mais que la proximité du périmètre agricole et des nombreuses parcelles privées, entraînent un mouvement vers l'extérieur de la ville. Le sud de la ville par exemple, est dominé par une zone de bâtiments administratifs tels que hôpitaux, casernes, écoles, lycées, universités. Ce processus de développement urbain signifie une typo-morphologie hétérogène, la multiplicité de frontières urbaines, la privatisation des espaces publics, ainsi, l'étalement urbain est perçu comme un facteur de désordre (Chaouche M, 2007).



**Figure 6.6 :** Quelques formes de bâtiments dans la cité 150 logements.



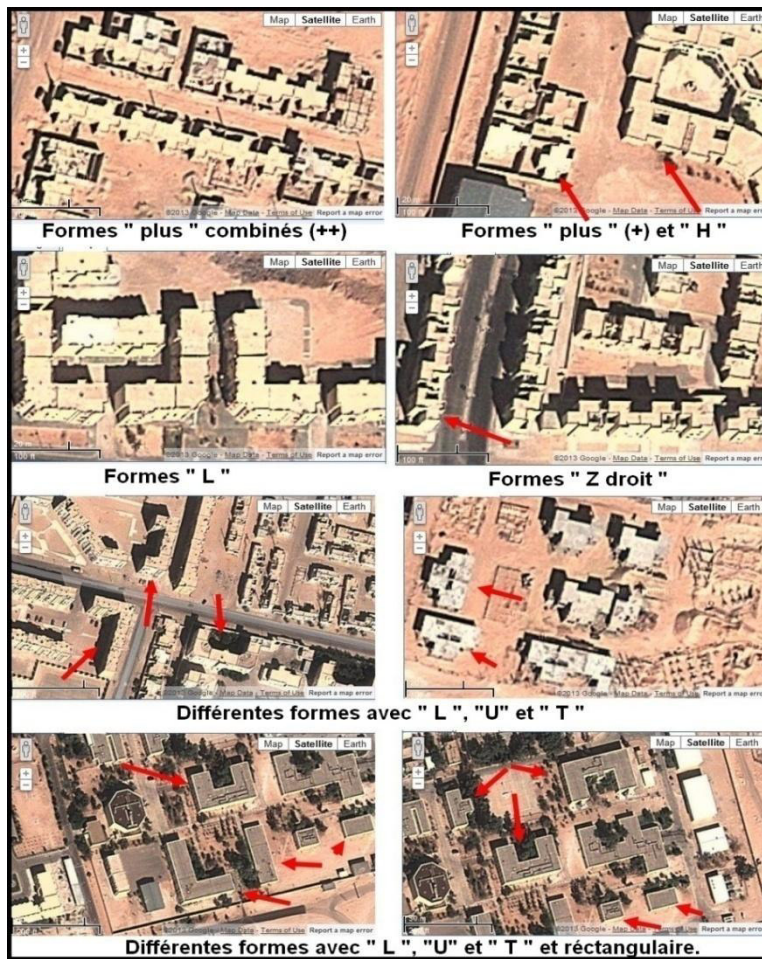


Figure 6.7 : Différentes formes utilisées à Bemendil El djadida et Cité Nasr, Ville de Ouargla.

### 6.5.3.2. Béchar

#### a. Données géographiques

La wilaya de Béchar correspond à une partie de l'ancien département de la Saoura. Elle est distante d'environ 950 km de la capitale Alger. Elle couvre une superficie de 162 200 km<sup>2</sup>. Elle est limitée au nord par la wilaya de Naâma ; à l'est par la wilaya d'El Bayadh ; au sud par les wilayas d'Adrar et de Tindouf ; à l'ouest par le Maroc.

La ville de Béchar est située à une altitude de 772 m, à 852 km au nord-est de Tindouf et à environ 80 km à l'est de la frontière marocaine. Béchar est la plus grande ville du sud-ouest algérien, sa population est de 171 724 habitants. La commune de Béchar s'étend sur une superficie de 5050 km<sup>2</sup> (KabourA, 2011).



**Figure 6.8 :** Situation géographique de Wilaya de Béchar.

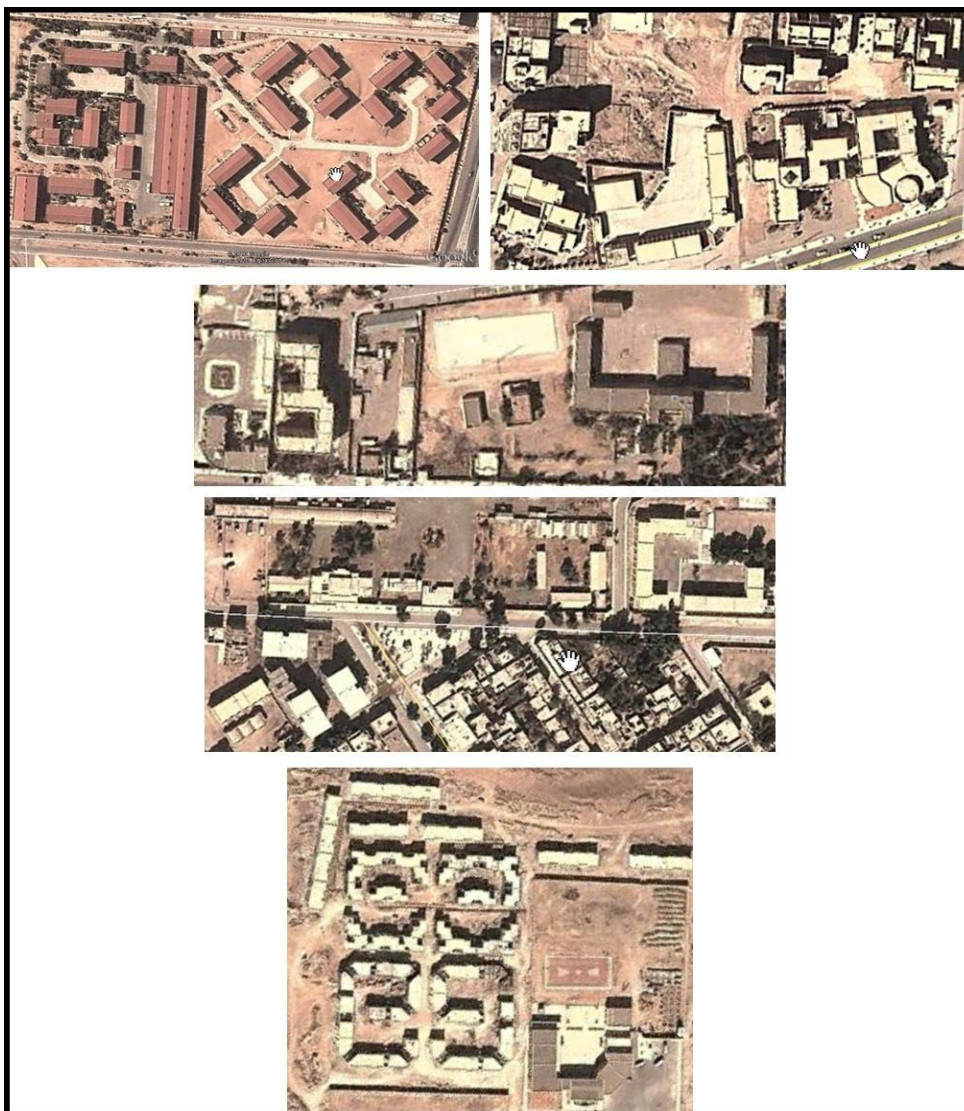
### **b. Données météorologiques**

Le climat de la ville de Béchar est suivi par une station, localisée sur la longitude  $31^{\circ}37'N$  et la latitude  $02^{\circ}14'W$ . Pour la série 1997-2012, la température moyenne est de  $22^{\circ}C$  avec  $35,7^{\circ}C$  pour juillet et  $8,8^{\circ}C$  pour janvier et la précipitation moyenne annuelle est de 112,65 mm. La température la plus élevée enregistrée est de  $44^{\circ}C$  le 11 Juillet. La température la plus basse enregistrée est de  $-1^{\circ}C$  le 5 Février (Kabour A, 2011)

### **c. Données architecturales**

A Béchar, le style architectural ne diffère guère de celle à Ouargla. Le désordre et l'hétérogénéité est bien ressentie. En faisant un tour survolant la ville par Google Earth, on n'a pas trouvé des bons échantillons pour les formes utilisées en construction (Figure 6.9)





**Figure 6.9** : Quelques formes de construction à Béchar.

### 6.6. Hypothèses de travail

La recherche suppose que le choix approprié de la forme géométrique et de l'orientation, qui prend en compte les facteurs environnementaux et l'économie d'énergie dans les bâtiments, a un effet significatif sur la performance thermique des bâtiments et la consommation d'énergie.

On suppose que les dimensions du bâtiment et le facteur de forme influent sur son comportement thermique et la forme du bâtiment peut modifier l'effet des charges thermiques solaire et les autres apports calorifiques et frigorifiques, veut dire qu'elle sera considérée comme un moyen de contrôle thermique. Les autres variables déterminant la forme (la culture, l'histoire, les croyances et autres) seront tenues à l'écart. Notre recherche sera focalisée sur deux paramètres climatiques qui sont la radiation solaire et la température extérieure afin d'examiner avec précision l'état de confort (température

intérieure). Aucun gain n'est considéré à l'intérieur, afin de connaître l'effet du changement de la forme et du facteur de forme sur les gains thermiques venants de l'extérieur.

Comme il existe plusieurs formules pour le calcul du facteur de forme, on a choisit de le considérer comme le rapport entre la somme des surfaces des murs verticaux et du toit sur le volume du bâtiment.

D'où, l'étude tente d'évaluer ces hypothèses en simulant différentes formes de construction dans différentes configurations en utilisant TRNSYS. La composition des parois est comme suit:

- épaisseur des murs verticaux sera 46 cm,
- épaisseur de la lame d'air sera 3 cm,
- le matériau de construction sera la brique creuse de 20 cm d'épaisseur,
- le toit est constitué d'une couche de l'hourdis et de béton,
- le sol est couvert d'une couche de béton lourd, de mortier et de carrelage.

### **6.7. Étapes de l'analyse**

- L'acquisition des données:
  - délimitation de l'aire d'étude (climats chauds et arides, villes de Ouargla et de Béchar).
  - définitions explicites et opératoires du genre (forme) architectural étudié.
  - la sélection de spécimens d'édifices – échantillon - susceptibles de constituer le corpus (choix et classification des formes ayant un intérêt manifeste en termes de protection solaire).
- La gestion des données :
  - description des échantillons
  - l'abstraction de la forme et le test de la qualité thermique en utilisant les calculs énergétiques connus (méthode de degré-heure).
  - analyse des résultats.

Pour pouvoir effectuer la simulation de façon juste et sans difficulté, on a défini les dimensions de chaque forme avec chaque valeur du facteur de forme, puis pour s'en servir devant le logiciel TRNSYS, on a effectué le calcul des superficies de chaque mur avec la précision des orientations.

La surface bâtie étant égale à 120 m<sup>2</sup> soit le toit et le plancher de même superficie qui ne change pas.

La hauteur "H" est prise égale à 3m; soit un volume de l'espace de 360 m<sup>3</sup>.

On va montrer en détails ci-des sous les valeurs des dimensions et des surfaces pour chaque forme, et la méthode de calcul avec les formules utilisées.

On a commencé par une largeur de 1mètre pour faire la boucle de calcul en utilisant Excel®, puis on a fait la simulation à ces dimensions dans le but de comparer le comportement thermique avec des petites dimensions et par l'obligation de la petite fourchette de variations possibles due au choix de la superficie du bâtiment qu'on a fixée à 120 m<sup>2</sup>.

On a choisit comme orientations le Sud-Nord et Est-Ouest pour toutes le formes.

### 6.8. Description de la méthode de degré-jour (Ozel M, 2013 ;Daouas N,2010)

Elle consiste à l'intégrale de l'équation de transfert de chaleur,

$$Q_i = h_i ( T_x - T_i ) \quad (6.28)$$

Sur toute l'année; en prenant les valeurs de la chaleur en chaque heure.

On obtient l'équation suivante :

$$Q_c = 3600 .CDH . K \quad (6.29)$$

Où:

$Q_i$  : le flux de chaleur entre l'extérieur et l'intérieur (W/m<sup>2</sup>)

$h_i$  : le coefficient de transfert de chaleur par convection (W/m<sup>2</sup> K)

$(T_x - T_i)$  : l'écart de température entre l'extérieur et l'intérieur.(°C)

$Q_c$  : Flux de chaleur. (kWh/m<sup>2</sup>)

CDH : Degré-heure de climatisation, (°C heure)

K : Coefficient de transmission de chaleur global. (W/m<sup>2</sup> K),

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum R_i + \frac{1}{h_e}} \quad (6.30)$$

Où :

$$\sum R_i = \sum \frac{e_i}{\lambda_i} \quad (6.31)$$

$h_i, h_e$  : les coefficients de transfert convectifs à l'intérieur et à l'extérieur du mur, (W/m<sup>2</sup> K),

$R_i$  : la résistance thermique totale du mur sans isolation, (K m<sup>2</sup> /W),

$e_i$  : épaisseur de la couche i du mur, (mm).

$\lambda_i$  : coefficient de transfert de chaleur par conduction de la couche i du mur, (W/m<sup>2</sup>.K).

**6.9. Calcul et analyse des coûts**

La consommation électrique est définie comme suit :

D'abord, le besoin annuel en climatisation,  $E_c$  :

$$E_c = \frac{Q_c}{COP} \quad (6.32)$$

Le coût annuel d'électricité

$$C_c = \frac{Q_c \cdot C_e}{COP} \quad (6.33)$$

Où:

$E_c$ : besoin annuel en climatisation, (kWh/m<sup>2</sup>),

COP : coefficient de performance du système de climatisation, pris égal à 2,5.

$C_c$  : coût annuel d'électricité, (\$/an),

$C_e$  : coût d'électricité, (\$/ kWh), égal à 0,11 \$/ kWh.

$$C_t = PWF \cdot C_c \quad (6.34)$$

$C_t$  : le coût total requis pour la climatisation durant la durée de vie de la construction.

PWF : « Present Worth Factor », facteur d'actualisation ou bien facteur de la valeur actuelle sur une durée de N ans.

où:

$$PWF = \frac{(1+r)r^N - 1}{r(1+r)^N}, \begin{cases} i > g, & r = \frac{i-g}{i+g} \\ i < g, & r = \frac{g-1}{i+1} \end{cases} \quad (6.35)$$

$$PWF = \frac{N}{1+i}, i = g$$

Où :

N : Durée de vie, choisie égale à 30 ans.

r : Taux d'actualisation (%),

i : Taux d'intérêt (%), étant pris pour 8,75 %, (MFCNC, 2011)

g : Taux d'inflation (%), étant pris égal à 3,5 %

### **6.10. Résultats et discussion**

Comme déjà mentionné, on va présenter à travers ce chapitre, l'étude de l'influence de la forme sur la performance thermique des bâtiments dans les villes de Ouargla et de Béchar qui font partie des régions chaudes et arides, et cela par la recherche d'une interaction entre la performance thermique de la forme des bâtiments et sa forme géométrique et le facteur de forme.

Ces résultats ont été obtenus à partir de l'étude des différents paramètres. Un nombre important de simulations sont effectuées, soit entre treize et vingt-quatre facteurs de forme par six formes proposées en deux régions. Les premières simulations ont pour but de montrer l'impact de la morphologie d'une enveloppe sur sa demande d'énergie en climatisation exprimée en (kWh/m<sup>2</sup>).

Pour terminer, on a essayé de faire un bilan économique par l'analyse et la comparaison des prix de construction de chacune des formes et le prix ou la facture de consommation de l'électricité et choisir le facteur forme adéquat pour les régions concernées. Cette comparaison nous permettra de trouver la meilleure forme et le meilleur coefficient de forme pour chaque région.

### **6.11. Calcul des paramètres de la méthode degré-jour**

#### **6.11.1. Coefficient global de transfert thermique**

On avait déjà décrit la composition des murs, du toit et du plancher. Par contre, on était obligé de prendre les différentes valeurs des coefficients de transfert de chaleur par conduction « ki » à partir du logiciel TRNSYS parce que les résultats de simulation sont basés sur les mêmes valeurs. Les résultats de calcul sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau 6.3 : Calcul du coefficient de transmission de chaleur K.**

Parois	Paramètres	Composants					Ki (W/m²K)
Les murs	-	Enduit	Brique	Lame d'air	Brique	Plâtre	0.710
	K	4.152	1.69	0.216	1.69	1.264	
	e (m)	0.015	0.2	0.03	0.2	0.015	
	R (K.m²/W)	0.013	0.426	0.500	0.426	0.043	
Le toit	-	Mortier	Béton lourd	Hourdis	Plâtre		0.807
	k (kJ/h.m.K)	4.152	0.578	4.801	1.264		
	e (m)	0.015	0.15	0.2	0.05		
	R (K.m²/W)	0.013	0.934	0.150	0.142		
Le plancher	-	Terre	Beton	mortier	Carrelage		4.059
	k (kJ/h.m.K)	0.252	6.318	4.152	6.137		
	e (m)	0.005	0.2	0.05	0.03		
	R (K.m²/W)	0.071	0.114	0.043	0.018		
$h_i = 9 \text{ W/m}^2 \text{ K} , h_e = 22 \text{ W/m}^2 \text{ K}$						<b>K= 0.174</b>	

**6.11.2. Facteur d'actualisation**

Le calcul nous donne un taux d'actualisation égale à  $r = 0.417 \%$

Le facteur d'actualisation :

$$PWF = \frac{(1+r)r^N - 1}{r(1+r)^N} \Rightarrow PWF = 2.4 \%$$

**6.11.3. Influence du facteur forme sur la consommation énergétique annuelle en climatisation**

La consommation énergétique est indiquée par le flux de chaleur  $Q_c$  trouvé après simulation. On a fait la comparaison des résultats obtenus à Ouargla et à Béchar pour chaque forme.

**6.11.3.1. Forme Rectangulaire "Modèle 1"**

La comparaison de la variation de la consommation énergétique de climatisation en fonction du facteur de forme entre Ouargla et Béchar est présentée dans le tableau 6.4.

**Tableau 6.4 :** Résultats de simulation pour la forme rectangulaire.

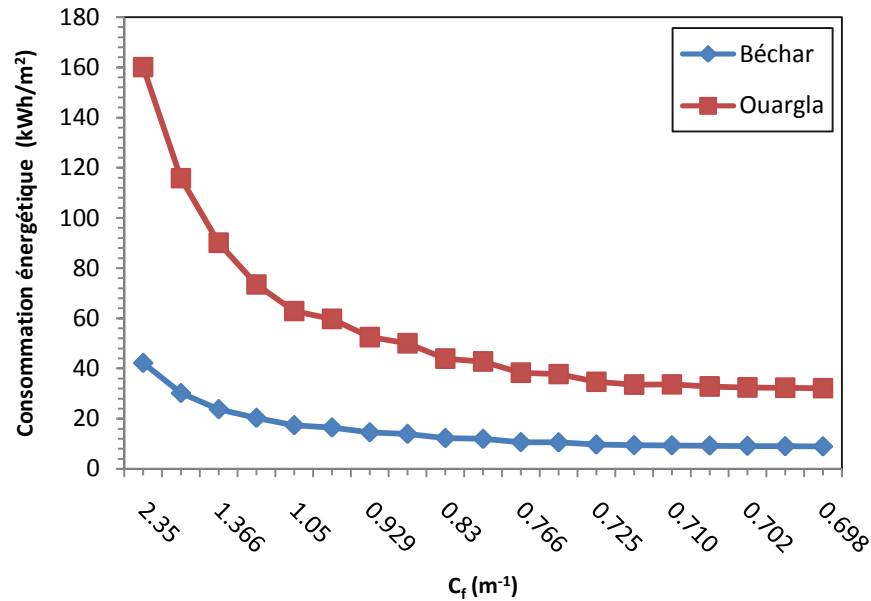
No.	$C_f (m^{-1})$	Béchar			Ouargla		
		$T_{int}$	$N^{bre}Hrs$	$Q_c(kWh/m^2)$	$T_{int}$	$N^{bre}Hrs$	$Q_c(kWh/m^2)$
1	2.350	30.62	2148	42.24	36.79	6499	160.10
2	1.691	30.85	2402	30.22	37.42	6393	115.80
3	1.366	30.97	2440	23.77	37.67	6417	90.09
4	1.175	31.09	2267	20.33	37.52	6371	73.44
5	1.050	31.05	2247	17.40	37.53	6345	62.82
6	1.011	31.04	2249	16.49	37.55	6343	59.74
7	0.929	30.99	2208	14.54	37.46	6328	52.48
8	0.900	30.99	2207	13.89	37.49	6328	50.03
9	0.830	30.91	2178	12.24	37.45	6317	43.93
10	0.816	30.90	2183	11.92	37.46	6318	42.78
11	0.766	30.81	2148	10.63	37.38	6298	38.30
12	0.757	30.85	2159	10.53	37.45	6313	37.69
13	0.725	30.75	2115	9.68	37.34	6297	34.65
14	0.716	30.65	2055	9.41	37.15	6270	33.56
15	0.710	30.82	2174	9.36	37.51	6336	33.67
16	0.705	30.69	2056	9.24	37.24	6290	32.79
17	0.702	30.68	2053	9.11	37.22	6289	32.41
18	0.700	30.66	2083	8.99	37.26	6296	32.29
19	0.698	30.64	2084	8.92	37.25	6308	32.13

Où :

$T_{int}$  est la température intérieure moyenne calculée pour la période du besoin en climatisation ( $N^{bre}Hrs$ ).

$N^{bre}Hrs$  est le nombre d'heures dont la température intérieure est supérieure à 26°C donc besoin en climatisation, calculé sur toute l'année.

La figure (6.10) présente la variation de la consommation d'énergie en climatisation «  $Q_c$  » en fonction du facteur de forme pour la forme rectangulaire ; sous les conditions climatiques de Ouargla et de Béchar.



**Figure.6.10** :Influence du facteur forme sur la consommation énergétique annuelle de climatisation pour la ville de Ouargla et la ville de Béchar (forme rectangulaire).

D'après le graphe, et les valeurs du tableau, on remarque que les variations de facteur de forme «  $C_f$  » sont proportionnelles aux variations de la consommation énergétique de la climatisation. Alors la diminution du facteur de forme permet la minimisation de l'énergie consommée en climatisation. On observe également que la consommation énergétique de climatisation pour la région de Ouargla est réduite remarquablement (78.35 %) avec la diminution du facteur de forme de 2.35 à 0.725 m<sup>-1</sup>, la variation de facteur de forme de 0.725 à 0.698 m<sup>-1</sup> affecte légèrement sur la consommation énergétique, elle diminue d'environ (7.28%).

On remarque que la courbe de consommation est légèrement ascendante jusqu'à  $C_f=0.698$  m<sup>-1</sup> avec une différence de (0.16 kWh/m<sup>2</sup>). Pour la région de Béchar, la consommation énergétique de refroidissement décroît avec la diminution du facteur de forme d'environ 77.08% jusqu'à  $C_f = 0.725$  m<sup>-1</sup> puis de 7.8% pour l'intervalle de 0.725 à 0.698 m<sup>-1</sup>.

Dans les deux contextes climatiques, les enveloppes dans la région de Ouargla montrent une consommation énergétique plus élevée que celle dans la région de Béchar car le climat de Ouargla a une période estivale plus longue que celle à Béchar avec une moyenne annuelle de température intérieure supérieure à celle de Béchar.



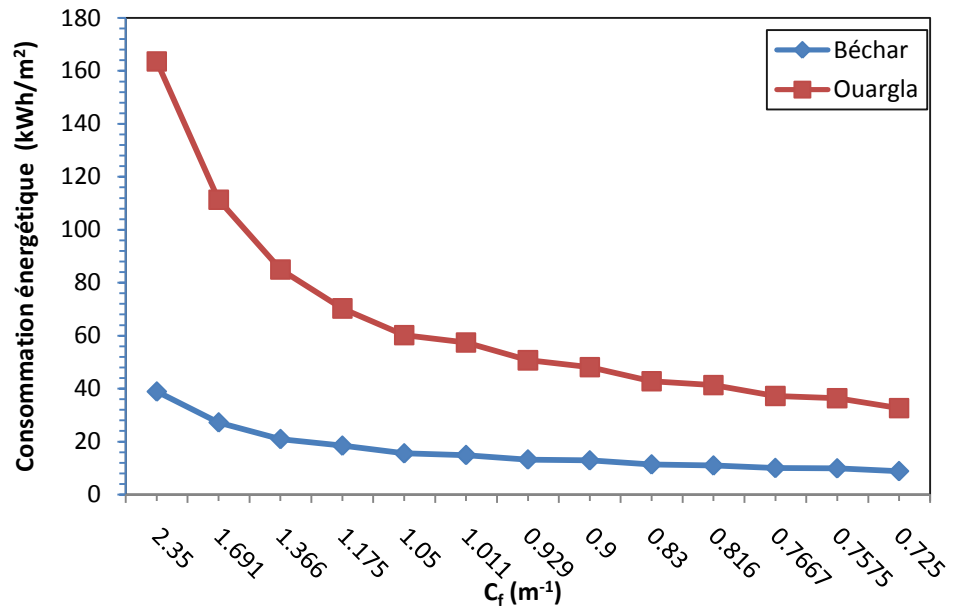
### 6.11.3.2. Forme L "Modèle 2"

Les résultats de simulation sont donnés dans le tableau (6.5).

**Tableau 6.5** : Résultats de simulation pour la forme « L ».

No.	$C_f (m^{-1})$	Béchar			Ouargla		
		Tint	NbreHrs	$Q_c(kWh/m^2)$	Tint	NbreHrs	$Q_c(kWh/m^2)$
1	2.350	30.48	2502	38.84	37.13	6482	163.53
2	1.691	30.45	2444	27.19	37.00	6494	111.34
3	1.366	30.61	2331	20.92	37.07	6445	84.97
4	1.175	30.75	2259	18.42	37.05	6474	70.24
5	1.050	30.67	2253	15.52	37.08	6425	60.16
6	1.011	30.68	2283	14.90	37.12	6456	57.33
7	0.929	30.64	2228	13.20	37.10	6385	50.67
8	0.900	30.63	2209	12.87	37.01	6450	48.04
9	0.830	30.60	2243	11.35	37.13	6410	42.77
10	0.816	30.59	2234	10.93	37.07	6439	41.27
11	0.766	30.59	2219	10.00	37.06	6460	37.14
12	0.757	30.55	2176	9.86	37.01	6422	36.36
13	0.725	30.47	2237	8.82	36.78	6632	32.60

La variation de la consommation énergétique de climatisation «  $Q_c$  » en fonction du facteur de forme «  $C_f$  » pour la forme « L » sous les conditions climatiques de Ouargla et de Béchar est présentée sur la figure (6.11).



**Figure 6.11** : Influence du facteur forme sur la consommation énergétique annuelle de climatisation pour la ville de Ouargla et la ville de Béchar (Forme L).

La figure (6.11) indique qu'une réduction de consommation énergétique en climatisation est obtenue avec la diminution du facteur de forme. Sous les conditions climatiques d'Ouargla. On remarque que la consommation énergétique de climatisation est réduite à 64.94% dans le cas où le facteur de forme évolue entre  $2.35m^{-1}$  et  $1.011m^{-1}$ . Ce pourcentage est diminué jusqu'à ce qu'il atteigne 43.14% dans le cas de facteur de forme est égal à  $0.725m^{-1}$ . La même tendance peut être montrée sous les conditions climatiques de Béchar avec un pourcentage d'environ 61.64% dans l'intervalle de  $2.350m^{-1}$  –  $1.011m^{-1}$  et 40.84% pour le reste. Un facteur de forme élevé engendre l'augmentation du potentiel solaire sur les façades du bâtiment ce qui augmente la consommation d'énergie de climatisation.

6.11.3.3. Forme T "Modèle 3"

Tableau 6.6 : Résultats de simulation pour la forme « T ».

No.	$C_f (m^{-1})$	Béchar			Ouargla		
		$T_{int}$	N <sup>bre</sup> Hrs	$Q_c(kWh/m^2)$	$T_{int}$	N <sup>bre</sup> Hrs	$Q_c(kWh/m^2)$
1	2.350	29.84	2823	37.65	36.17	7110	156.90
2	1.691	29.97	2764	26.26	36.32	7083	107.42
3	1.366	30.01	2716	20.57	36.36	7043	83.02
4	1.175	30.07	2651	17.18	36.39	7001	68.32
5	1.050	30.14	2636	14.84	36.49	6984	58.60
6	1.011	30.04	2594	13.98	36.37	6933	55.46
7	0.929	30.09	2539	12.46	36.38	6918	48.82
8	0.900	30.10	2539	11.86	36.40	6899	46.54
9	0.830	30.15	2528	10.55	36.53	6863	41.23
10	0.816	30.16	2482	10.26	36.47	6863	39.97
11	0.766	30.12	2495	9.17	36.65	6765	36.20
12	0.757	30.12	2432	9.05	36.55	6749	35.33
13	0.725	29.98	2468	8.10	36.61	6699	32.60

La consommation énergétique de climatisation en fonction du facteur de forme pour la forme « T » sous les conditions climatiques de Ouargla et de Béchar est présentée sur la figure (6.12).

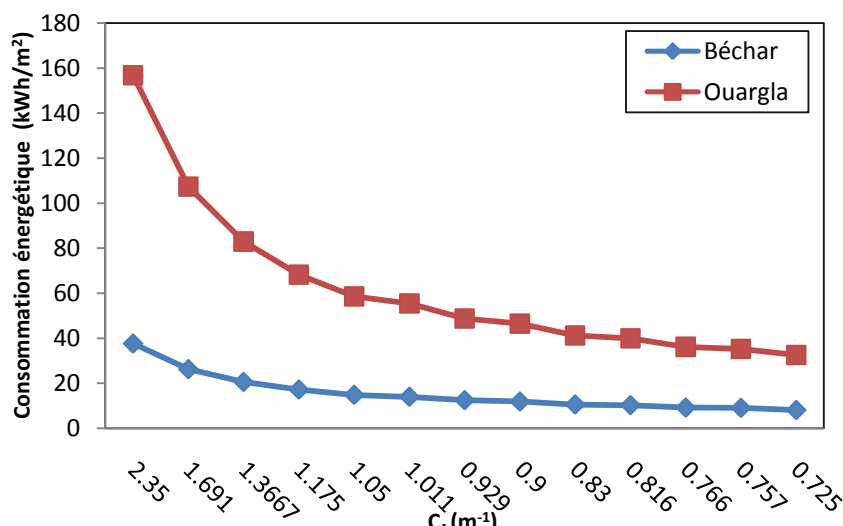


Figure 6.12 : Influence du facteur forme sur la consommation énergétique annuelle de climatisation pour la ville de Ouargla et la ville de Béchar (forme T).

## Chapitre 6 : Contribution de la morphologie des bâtiments sur le confort thermique

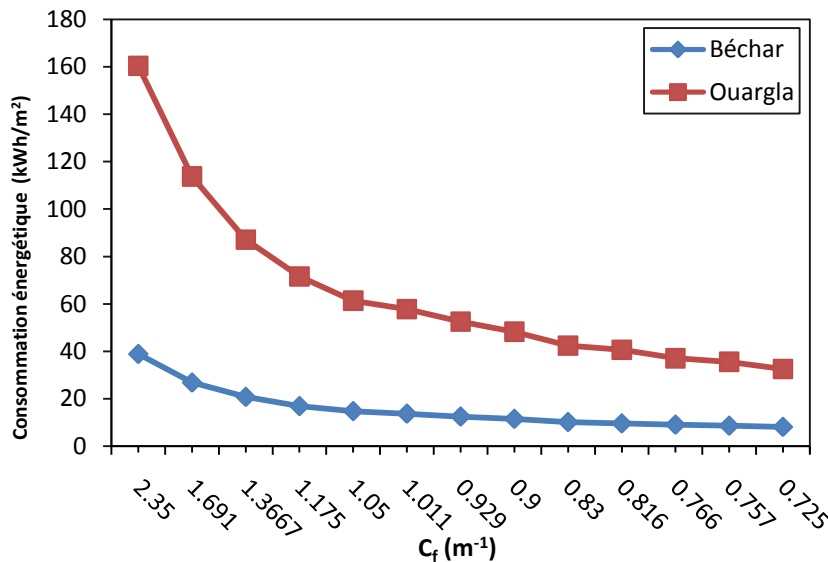
La consommation énergétique de climatisation est réduite de 64.65% avec une diminution du facteur de forme ( $C_f$ ) de 2.35 à 1.011 pour la ville de Ouargla. Cependant. Environ 41.20% de réduction se produit avec la diminution du facteur de forme de  $1.011\text{m}^{-1}$  à  $0.725\text{m}^{-1}$ . Dans la ville de Béchar, la diminution du facteur de forme ( $C_f$ ) de 2.35 à 1.01 réduit la consommation énergétique de climatisation d'environ 62.88% et 42.07% pour le reste de l'intervalle.

### 6.11.3.4. Forme PLUS "Modèle 4"

Tableau 6.7. Résultats de simulation pour la forme « Plus ».

No.	$C_f(\text{m}^{-1})$	Béchar			Ouargla		
		$T_{\text{int}}$	N <sup>bre</sup> Hrs	$Q_c(\text{kWh}/\text{m}^2)$	$T_{\text{int}}$	N <sup>bre</sup> Hrs	$Q_c(\text{kWh}/\text{m}^2)$
1	2.350	28.13	2954	38.85	37.03	7042	160.37
2	1.691	27.86	2894	26.80	33.82	6656	113.74
3	1.366	27.85	2832	20.75	33.78	6649	87.06
4	1.175	27.85	2845	16.87	33.84	6620	71.60
5	1.050	27.88	2796	14.76	33.84	6625	61.37
6	1.011	27.85	2788	13.69	33.78	6590	57.82
7	0.929	27.75	2757	12.47	33.72	6640	52.50
8	0.900	27.76	2746	11.49	33.71	6598	48.27
9	0.830	28.18	2736	10.16	33.76	6621	42.42
10	0.816	27.69	2705	9.59	33.60	6621	40.63
11	0.766	27.80	2711	9.05	33.76	6641	37.10
12	0.757	27.70	2644	8.60	33.56	6627	35.60
13	0.725	27.73	2574	8.12	33.53	6669	32.58

La variation de la consommation énergétique de climatisation en fonction du facteur de forme pour la forme « Plus » sous les conditions climatiques de Ouargla et de Béchar est présentée sur la figure (6.13).



**Figure 6.13:** Influence du facteur forme sur la consommation énergétique annuelle de climatisation pour la ville de Ouargla et la ville de Béchar (forme Plus).

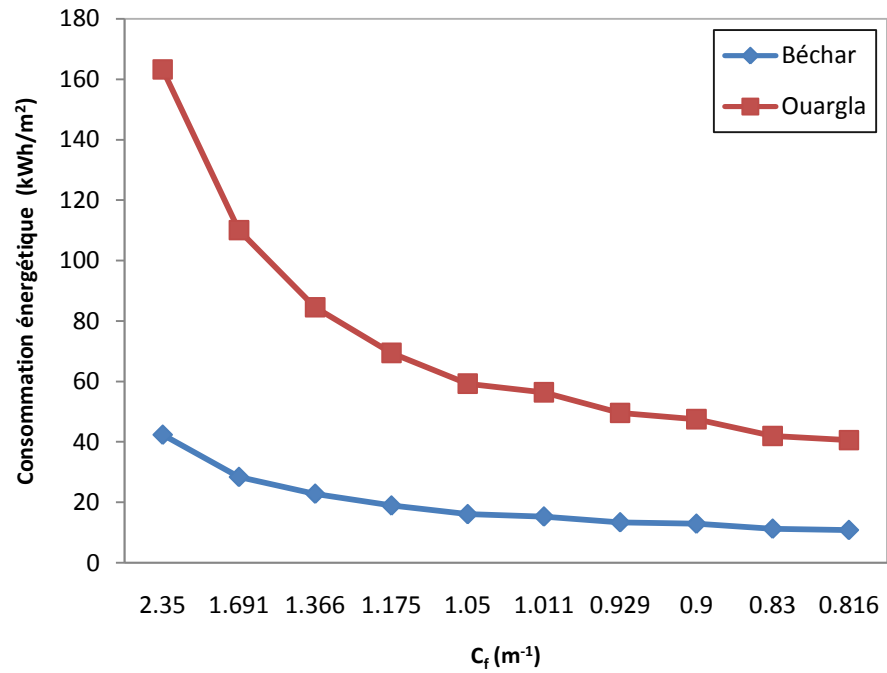
La figure (6.13) illustre l'effet de facteur de forme sur la consommation énergétique de climatisation pour la forme "Plus". La diminution du facteur de forme de 2.350m<sup>-1</sup> à 1.011m<sup>-1</sup> réduit la consommation énergétique de climatisation d'environ 63.94% pour la ville de Ouargla et de 64.77% pour la ville de Béchar pour le même intervalle. Pour Cf de 1.011 à 0.725m<sup>-1</sup>. la diminution est de 43.65% pour Ouargla et de 40.67% pour Béchar.

**6.11.3.5. Forme U "Modèle 5"**

**Tableau 6.8 :** Résultats de simulation pour la forme « U ».

No.	C <sub>f</sub> (m <sup>-1</sup> )	Béchar			Ouargla		
		T <sub>int</sub>	N <sup>bre</sup> Hrs	Q <sub>c</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	T <sub>int</sub>	N <sup>bre</sup> Hrs	Q <sub>c</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )
1	2.350	30.65	2523	42.37	37.16	6698	163.21
2	1.691	30.54	2472	28.43	37.01	6677	110.02
3	1.366	30.77	2346	22.88	37.04	6661	84.54
4	1.175	30.80	2316	18.98	37.06	6651	69.43
5	1.050	30.71	2297	16.12	36.99	6628	59.26
6	1.011	30.74	2304	15.35	37.05	6631	56.39
7	0.929	30.67	2273	13.44	36.99	6606	49.55
8	0.900	30.64	2245	12.97	37.00	6570	47.50
9	0.830	30.62	2264	11.32	37.06	6566	41.94
10	0.816	30.58	2260	10.89	36.99	6569	40.59

La figure suivante présente la variation de la consommation énergétique de climatisation en fonction du facteur de forme « U » sous les conditions climatiques de Ouargla et de Béchar.



**Figure 6.14 :** Influence du facteur forme sur la consommation énergétique annuelle de climatisation pour la ville de Ouargla et la ville de Béchar (forme U).

D'après la figure (6.14), on observe que la consommation énergétique de climatisation sous les conditions climatiques de la ville de Ouargla est réduite de 65.44 % pour une diminution du facteur de forme de  $2.350m^{-1}$  à  $1.011m^{-1}$ . Soit  $106.82 kWh/m^2$  de différence.

La même tendance peut être remarquée dans la ville de Béchar. Pour le même intervalle la consommation énergétique de climatisation est réduite de 63.77%. Soit un gain de  $27.02 kWh/m^2$ .

6.11.3.6. Forme Z "Modèle 6"

Tableau 6.9 : Résultats de simulation pour la forme « Z ».

No.	$C_f (m^{-1})$	Béchar			Ouargla		
		$T_{int}$	N <sup>bre</sup> Hrs	$Q_c(kWh/m^2)$	$T_{int}$	N <sup>bre</sup> Hrs	$Q_c(kWh/m^2)$
1	2.350	30.46	2517	38.94	36.93	6697	159.37
2	1.692	30.34	2476	26.24	36.79	6676	107.53
3	1.367	30.35	2463	20.34	36.85	6660	82.87
4	1.175	30.63	2324	17.80	36.88	6650	68.28
5	1.050	30.58	2290	15.30	36.83	6627	58.37
6	1.012	30.61	2313	14.59	36.91	6631	55.62
7	0.929	30.57	2283	13.01	36.88	6606	49.09
8	0.900	30.55	2278	12.46	36.94	6543	47.33
9	0.830	30.64	2264	11.32	37.05	6560	41.96
10	0.8167	30.63	2264	11.01	37.02	6567	40.71

La figure (6.15) présente la variation de la consommation énergétique de climatisation en fonction du facteur de forme (forme Z) sous les conditions climatiques de Ouargla et de Béchar.

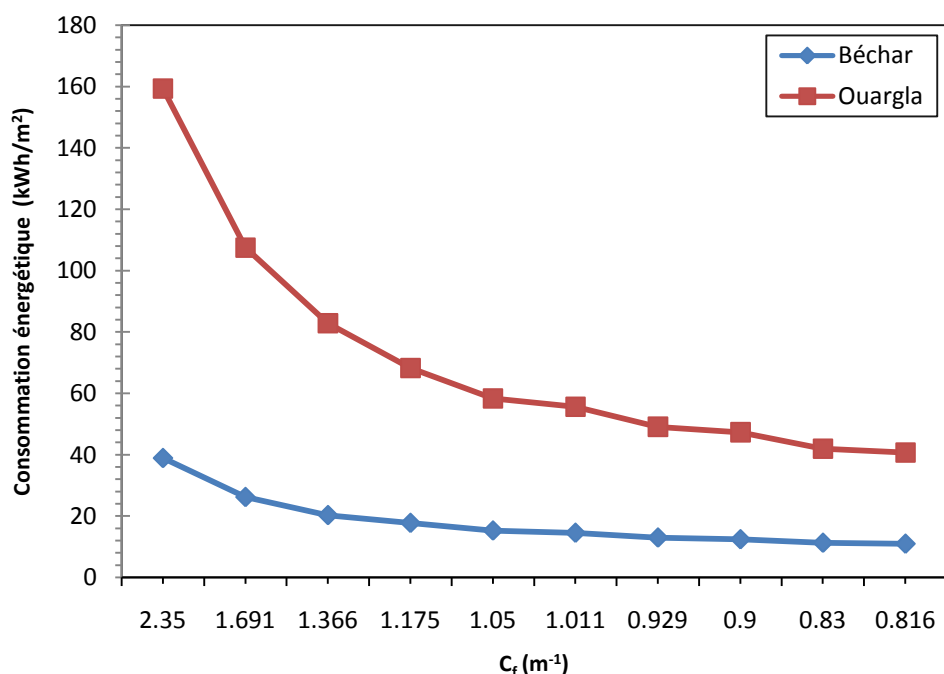
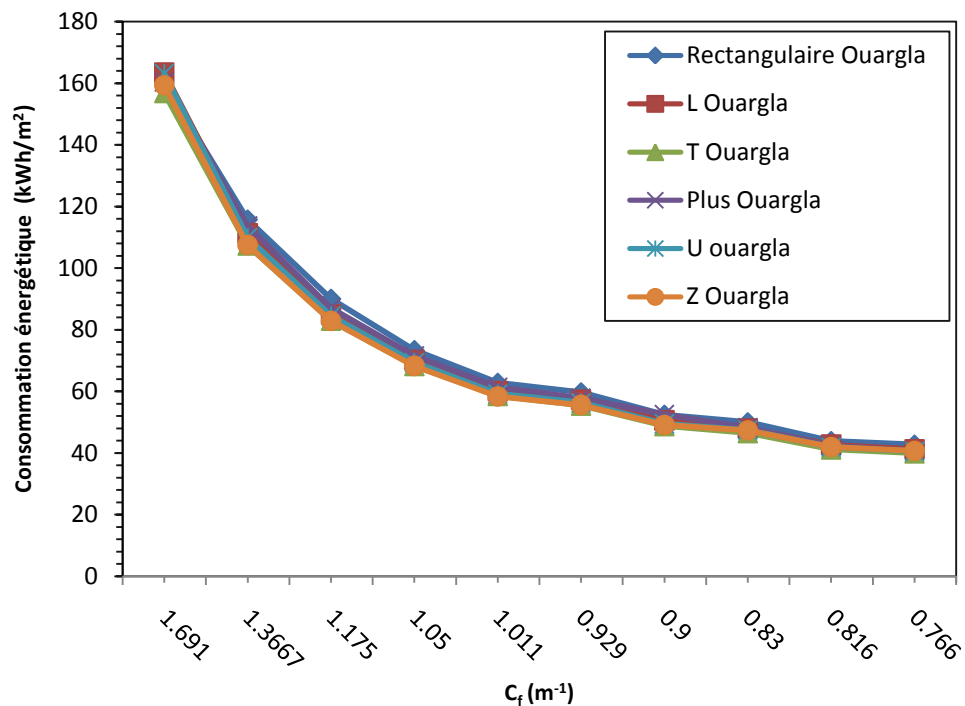


Figure 6.15 : Influence du facteur forme sur la consommation énergétique annuelle de climatisation pour la ville de Ouargla et la ville de Béchar (forme Z).

On remarque que la consommation énergétique à Ouargla diminue de 65.10 % quand on varie le facteur de forme de  $2.350\text{m}^{-1}$  à  $1.011\text{m}^{-1}$  soit une différence de  $103.75\text{ kWh/m}^2$ . De façon identique. On trouve que la consommation énergétique à Béchar a diminuée de 65.54 % pour le même intervalle.

### 6.12. Influence du facteur forme sur la consommation énergétique annuelle en climatisation pour la ville de Ouargla (les six formes architecturales)

La figure (6.16) représente une comparaison de la consommation énergétique entre les six formes étudiées précédemment. Treize valeurs de facteurs de forme sont considérées pour toutes les formes excepté la forme rectangulaire qui possède vingt-quatre valeurs de coefficient de forme.



**Figure 6.16 :** Influence du facteur forme sur la consommation énergétique annuelle de climatisation pour la ville de Ouargla (les six formes).

On remarque que les toutes les courbes prennent la même allure avec des valeurs très proches les unes des autres.

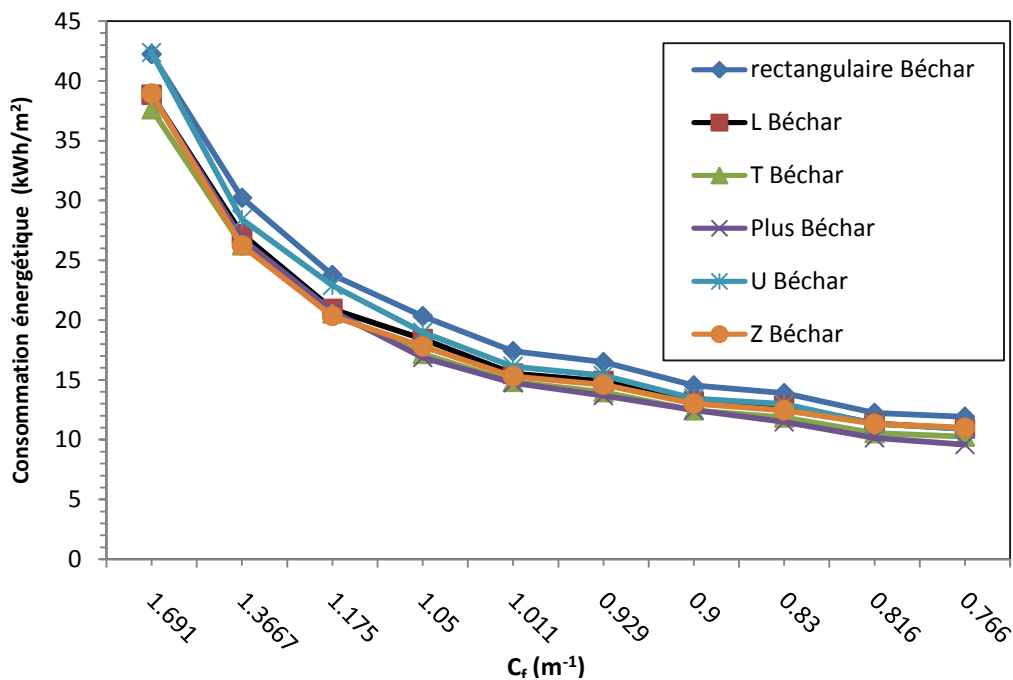
On remarque aussi que la consommation énergétique pour la forme rectangulaire est plus importante que pour les autres formes et ceci pour toutes les valeurs de facteur de forme. Les formes « Plus » et « U » consomment moins que la forme « L » pour la plupart des



valeurs de facteur de forme. La valeur maximale de la consommation est de 39.17 kWh/m<sup>2</sup> et qui correspond pour la forme « Rectangulaire ». Cependant la valeur minimale est celle de la forme « Plus » pour le facteur de forme 0.725 m<sup>-1</sup> avec une consommation énergétique de 7.8kWh/m<sup>2</sup>. Ainsi, la différence maximale pour la consommation d'énergie est entre la forme rectangulaire et la forme « T » avec une valeur de 2 kWh/m<sup>2</sup>, tandis que la différence minimale est entre la forme rectangulaire et la forme « Plus » avec une valeur de 4.91kWh/m<sup>2</sup>. On conclue avec cette dernière remarque que la forme la plus performante est celle en « T » avec une grande concurrence avec la forme en « Z ».

**6.13. Influence du facteur forme sur la consommation énergétique annuelle en climatisation pour la ville de Béchar (les six formes architecturales)**

La figure.6.17 représente la comparaison de la consommation énergétique entre les six formes pour la ville de Béchar.



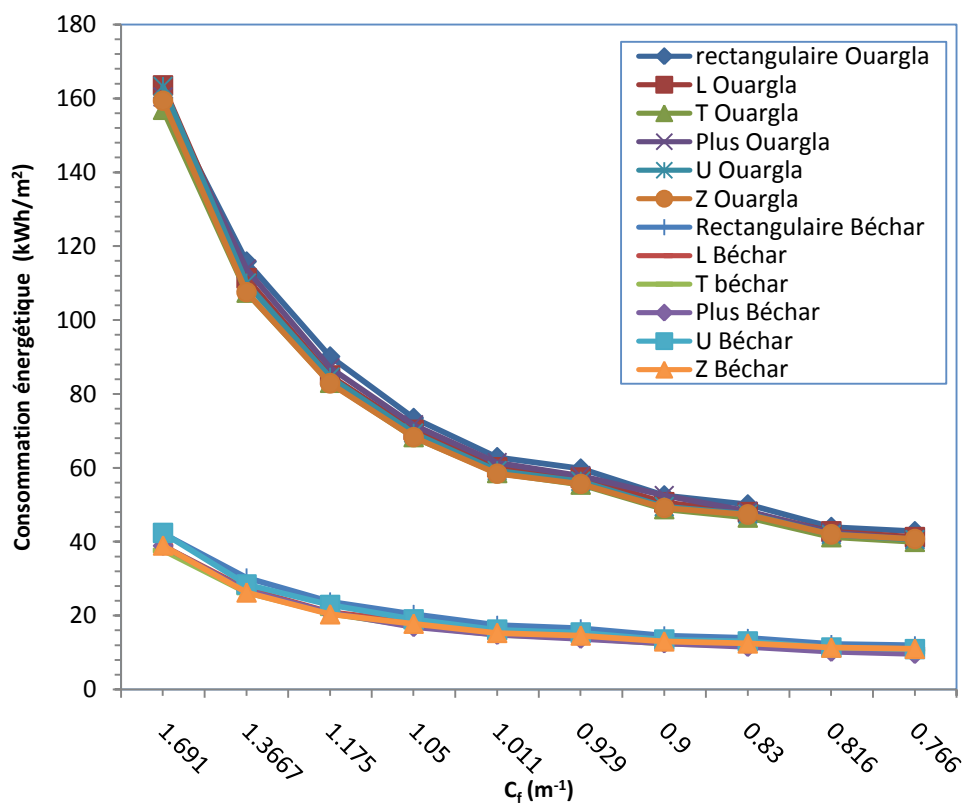
**Figure.6.17 :** Influence du facteur forme sur la consommation énergétique annuelle de climatisation pour la ville de Béchar (les six formes).

On remarque aussi que les courbes de toutes les formes prennent la même allure avec des valeurs proches les unes aux autres. On remarque de même que la forme rectangulaire demande toujours plus d'énergie que les autres formes pour toutes les valeurs de facteur de forme sauf pour la première où la consommation dans la forme « U » est la plus grande avec

une valeur de  $2.092 \text{ kWh/m}^2$ , soit une différence légère de  $0.006 \text{ kWh/m}^2$  plus que la forme rectangulaire. Les formes « L » et « U » consomment plus que les formes « Z ». « Plus » et « T ». La valeur maximale de la consommation est de  $17.4 \text{ kWh/m}^2$  et est de la forme « U ». Cependant, la valeur minimale est celle de la forme « T » pour le facteur de forme  $0.725 \text{ m}^{-1}$  avec une valeur de  $3.3 \text{ kWh/m}^2$ . Ainsi, la différence maximale est entre la forme « U » et la forme « T » avec une valeur de  $1.93 \text{ kWh/m}^2$ , tandis que la différence minimale est entre la forme rectangulaire et la forme « T » avec une valeur de  $0.65 \text{ kWh/m}^2$ . On conclue avec la remarque que la forme la plus performante est celle en « Plus » avec une grande concurrence de la forme en « T ».

### 6.14. Influence du facteur forme sur la consommation énergétique annuelle en climatisation pour la ville de Ouargla et la ville de Béchar (les six formes architecturales)

Le graphe de la figure (6.18) représente la consommation énergétique à Ouargla et à Béchar dans toutes les formes et pour les treize valeurs de facteur de forme prises dans les comparaisons précédentes.



**Figure 6.18 :** Influence du facteur forme sur la consommation énergétique annuelle de climatisation pour la ville de Ouargla et la ville de Béchar (les six formes).

La consommation d'énergie à Ouargla est largement supérieure à celle à Béchar. et cela est dû à la différence de la période du besoin en climatisation dans chaque ville ( $N^{bre}$  Hrs) et à la différence de température intérieure annuelle moyenne entre les deux villes qui peut atteindre  $37.67^{\circ}\text{C}$  à Ouargla mais ne dépasse pas  $31.09^{\circ}\text{C}$  à Béchar. Ces valeurs sont liées à la température extérieure et aussi à la performance de chaque construction.

On trouve que la température intérieure annuelle moyenne est minimale dans la forme « Plus » à Ouargla et à Béchar mais pour deux valeurs différentes de facteur de forme  $C_f$ . Elle est également maximale dans la même forme pour les deux villes. c'est la forme rectangulaire dont on enregistre des valeurs très élevées.

La différence de température entre Ouargla et Béchar peut atteindre  $6.7^{\circ}\text{C}$  (en négligeant la valeur de  $37.03^{\circ}\text{C}$  trouvé pour la forme « Plus » à Ouargla qui donne  $8.9^{\circ}\text{C}$  comme différence).

Pour sortir avec une idée claire et éclaircir les objectifs de ce chapitre. on récapitule les résultats de la consommation énergétique pour les deux villes dans les tableaux suivants et on les interprète dans la figure (6.25).

Tableau 6.10 : Consommation énergétique pour les six formes architecturales dans les deux villes.

C <sub>r</sub>	Q <sub>c</sub> pour Ouargla (kWh/m <sup>2</sup> )						Q <sub>c</sub> pour Béchar (kWh/m <sup>2</sup> )					
	Rectangle	L	T	Plus	Z	U	Rectangle	L	T	Plus	Z	U
2.350	160.10	163.53	156.90	163.21	159.37	163.21	42.24	38.84	37.65	38.85	38.94	42.37
1.692	115.80	111.34	107.42	110.02	107.53	110.02	30.22	27.19	26.26	26.80	26.24	28.43
1.367	90.09	84.97	83.02	84.54	82.87	84.54	23.77	20.92	20.57	20.75	20.34	22.88
1.175	73.44	70.24	68.32	69.43	68.28	69.43	20.33	18.42	17.18	16.87	17.80	18.98
1.050	62.82	60.16	58.60	59.26	58.37	59.26	17.40	15.52	14.84	14.76	15.30	16.12
1.012	59.74	57.33	55.46	56.39	55.62	56.39	16.49	14.90	13.98	13.69	14.59	15.35
0.929	52.48	50.67	48.82	49.55	49.09	49.55	14.54	13.20	12.46	12.47	13.01	13.44
0.900	50.03	48.04	46.54	47.50	47.33	47.50	13.89	12.87	11.86	11.49	12.46	12.97
0.830	43.93	42.77	41.23	41.94	41.96	41.94	12.24	11.35	10.55	10.16	11.32	11.32
0.817	42.78	41.27	39.97	40.59	40.71	40.59	11.92	10.93	10.26	9.59	11.01	10.89
0.767	38.30	37.14	36.20	163.21			10.63	10.00	9.17	9.05		
0.758	37.69	36.36	35.33	110.02			10.53	9.86	9.05	8.60		
0.725	34.65	32.60	32.60	84.54			9.68	8.82	8.10	8.12		

La consommation est minimale pour les valeurs  $0.817 \text{ m}^{-1}$  et  $0.830 \text{ m}^{-1}$  du facteur de forme  $C_f$  dans les deux villes Ouargla et Béchar. Toutes les valeurs sont proches les unes aux autres avec un léger avantage pour la forme « T » à Ouargla et pour la forme « Plus » à Béchar.

### **6.15. Influence du facteur forme sur le coût énergétique annuel de la climatisation**

Après avoir calculé le coût d'énergie consommée en climatisation comme il est indiqué au auparavant, et en terme de confirmation de la comparaison de l'énergie consommée par la climatisation des bâtiments, on devrait faire une autre comparaison entre les différentes factures de cette énergie.

Le Tableau 6.11 récapitule les résultats trouvés pour chaque forme dans les deux villes. On a mis les résultats de tous les facteurs de formes dans le tableau contrairement aux graphes des figures (6.19) et (6.20) où on a comparé que les treize premières valeurs pour chaque ville séparément.

**Tableau 6.11.** Coût de l'énergie électrique consommée à Ouargla et à Béchar.

Cf	Coût de l'énergie électrique consommée à Ouargla (\$)						Coût de l'énergie électrique consommée à Béchar (\$)					
	Rectangle	L	T	Plus	Z	U	Rectangle	L	T	Plus	Z	U
2.350	845.33	863.44	828.43	861.75	861.75	841.47	223.03	205.08	198.79	205.13	205.60	223.71
1.692	611.42	587.88	567.18	580.91	580.91	567.76	159.56	143.56	138.65	141.50	138.55	150.11
1.367	475.68	448.64	438.35	446.37	446.37	437.55	125.51	110.46	108.61	109.56	107.40	120.81
1.175	387.76	370.87	360.73	366.59	366.59	360.52	107.34	97.26	90.71	89.07	93.98	100.21
1.050	331.69	317.64	309.41	312.89	312.89	308.19	91.87	81.95	78.36	77.93	80.78	85.11
1.012	315.43	302.70	292.83	297.74	297.74	293.67	87.07	78.67	73.81	72.28	77.04	81.05
0.929	277.09	267.54	257.77	261.62	261.62	259.20	76.77	69.70	65.79	65.84	68.69	70.96
0.900	264.16	253.65	245.73	250.80	250.80	249.90	73.34	67.95	62.62	60.67	65.79	68.48
0.830	231.95	225.83	217.69	221.44	221.44	221.55	64.63	59.93	55.70	53.64	59.77	59.77
0.817	225.88	217.91	211.04	214.32	214.32	214.95	62.94	57.71	54.17	50.64	58.13	57.50
0.767	202.22	196.10	191.14	-	-	-	56.13	52.80	48.42	-	-	-
0.758	199.00	191.98	186.54	-	-	-	55.60	52.06	47.78	-	-	-
0.725	182.95	172.13	172.13	-	-	-	51.11	46.57	42.77	-	-	-

On remarque une proportionnalité entre les valeurs du facteur de forme Cf et le coût de l'énergie consommée et cela à Ouargla comme à Béchar malgré la grande différence entre les deux villes.

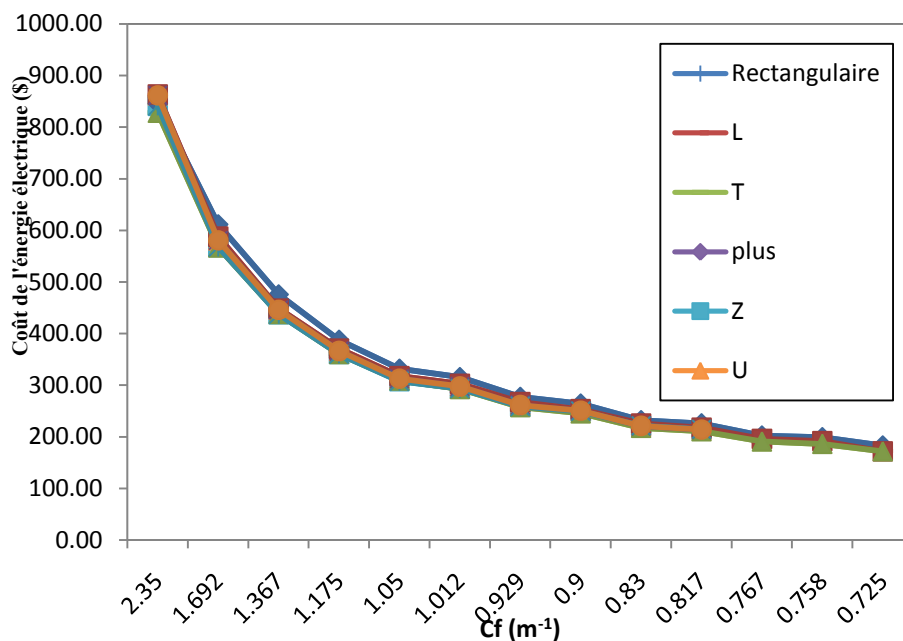


Figure 6.19 : Comparaison des coûts de l'énergie électrique, ville de Ouargla.

La forme « T » est la forme la plus économique en matière de coût d'énergie et cela suite à une consommation relativement plus basse. Les autres formes sont très proches en termes de coût d'énergie consommée pour toutes les valeurs de facteur de forme.

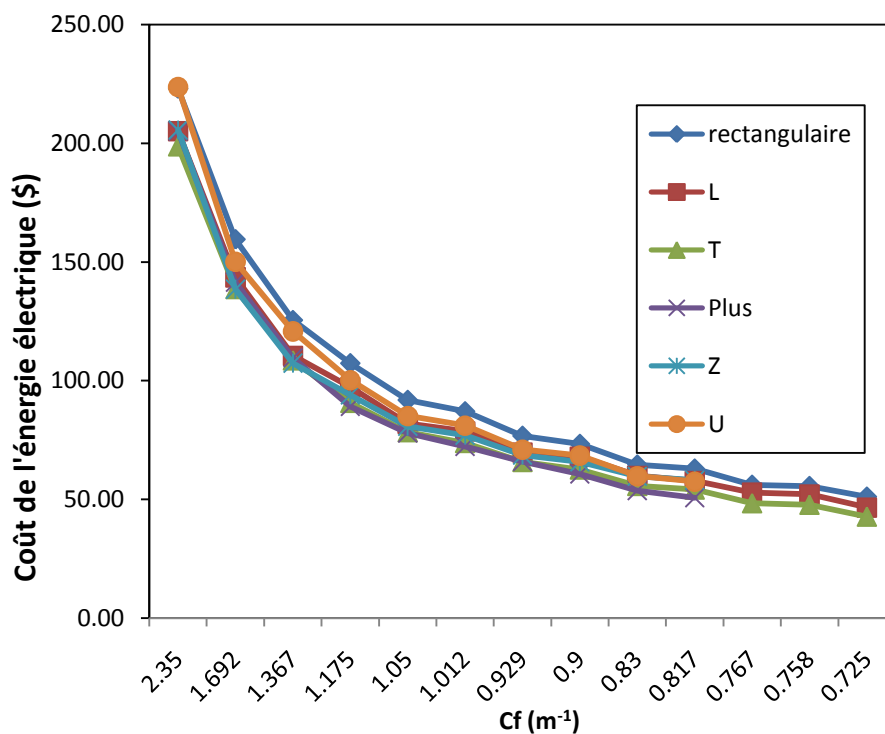


Figure 6.20 : Comparaison des coûts de l'énergie électrique, ville de Béchar.

## Chapitre 6 : Contribution de la morphologie des bâtiments sur le confort thermique

La forme « Plus » est la forme la plus économique en matière de coût d'énergie et cela suite à une consommation relativement plus basse. Les autres formes sont très proches en termes de coût d'énergie consommée pour toutes les valeurs de facteur de forme.

### 6.16. Influence du facteur forme sur le coût de construction

On a estimé le coût de construction de chaque forme de bâtiment suivant les normes et les prix de chaque élément de construction tel que les matériaux et la main d'œuvre.

On a considéré les mêmes prix pour les deux villes.

**Tableau.6.12** : Coût de construction des bâtiments estimé pour chaque forme.

Les formes Cf	Le coût de construction en Dollar Américain					
	Rectangle	L	T	Plus	U	Z
2.350	186 842.40	69 959.20	59 207.20	59 341.60	59 184.80	60 298.08
1.692	98 615.60	49 850.80	43 097.20	42 750.00	42 582.00	42 525.63
1.367	65 368.00	39 921.60	34 545.60	34 545.60	34 366.40	33 931.84
1.175	49 918.80	35 739.60	29 826.00	29 086.80	30 419.60	29 052.08
1.050	39 516.00	30 242.40	26 703.20	26 524.00	26 322.40	25 999.84
1.012	37 797.04	29 276.08	25 808.56	25 754.80	25 136.56	24 852.45
0.929	32 363.00	26 807.80	23 979.80	24 142.20	23 487.00	22 763.11
0.900	29 505.60	25 652.80	23 278.40	22 696.00	22 248.00	21 831.36
0.830	25 308.96	23 508.00	20 855.84	20 407.84	20 407.84	20 052.13
0.817	23 914.40	23 197.60	20 868.00	20 151.20	20 151.20	19 776.37
0.767	20 936.00	22 100.80	19 592.00	19 233.60	-	-
0.758	20 602.76	21 917.64	19 623.88	19 077.32	-	-
0.725	21 119.60	21 366.00	18 308.40	17 681.20	-	-

On remarque que la forme rectangulaire coûte très cher par rapport aux autres formes pour tous les facteurs de forme sauf les trois valeurs ( $0.767 \text{ m}^{-1}$ ,  $0.758 \text{ m}^{-1}$  et  $0.725 \text{ m}^{-1}$ ) où il y a une légère différence.

On remarque aussi que la valeur  $2.350 \text{ m}^{-1}$  est la plus coûteuse en terme de construction, ainsi, les valeurs du facteur de forme sont proportionnelles aux coûts de construction de façon que les graphes ne se croisent qu'en un seul point qui correspond à la forme rectangulaire pour la valeur  $\text{Cf} = 0.725 \text{ m}^{-1}$ .



## **Chapitre 6 : Contribution de la morphologie des bâtiments sur le confort thermique**

---

Alors, le facteur le plus faible est le moins coûteux et la forme « Plus » est la forme qui correspond aux plus petit prix pour ce facteur, mais il faut citer que les formes « U » et « Z » ne sont pas considérées pour cette valeur de  $C_f$ .

Pour la première valeur du facteur de forme, la forme la plus économique en construction est la forme « U », et pour les neuf valeurs qui suivent c'est la forme « Z » qui prend l'avantage avec une petite différence.

### **6.17. Conclusion**

A partir de ce chapitre on conclue que le choix de facteur forme du bâtiment est unenécessité essentielle des locaux.Cette étude donne des directions pour les architectes ou ingénieurs dansles tous premiers stades de leur projet.

Une méthode de calcul simplifiée a été développée pour estimer la consommation énergétique de climatisation dans toute l'année. Une réduction d'énergie importante pourrait être obtenue si un bâtiment prend un coefficient de forme plus petite par rapport au cas de référence qui se traduit par le même volume.

La période estivale ou la période du besoin en climatisation est la période calculée sur toute l'année exprimée en nombre d'heures correspond à la période où la température intérieure est supérieure à 26°C.Soit la température de confort prise comme référence dans notre étude.

On a trouvé que le besoin en climatisation est fortement supérieur à Ouargla qu'à Béchar. Une moyenne de 6604.50 heures. Pour lesquelles la température dépasse 26°C, trouvée à Ouargla alors qu'à Béchar elle est égale à 2430.42 heures.Soit une différence de 4174.08 H.

# **Chapitre 7**

## **Intégration des solutions bioclimatiques**

### 7.1.Introduction

L'intégration de la composante énergétique dans le processus de la conception architecturale est un objectif qui tend à l'amélioration du confort thermique. La minimisation de l'impact sur l'environnement par l'utilisation des procédés passifs et aussi le développement d'une architecture qui peut se situer géographiquement. Dans notre champ d'investigation. On constate que dans les régions à climat chaud et aride. Le problème du confort thermique s'impose comme un facteur principal à prendre en considération lors de la conception des bâtiments.

Construire avec le climat permet de réduire considérablement les dépenses en climatisation et en énergie électrique. Le présent chapitre s'intéresse à la qualité thermique intérieure du bâtiment contemporain suivant l'orientation. La forme de bâtiment choisi et l'organisation des pièces intérieures. Elle a pour objectif d'apprécier l'impact de ces paramètres sur la température de l'espace intérieur et l'amélioration du confort thermique avec l'intégration des solutions bioclimatique tels que la cheminée solaire. L'échangeur air-sol et les murs végétalisés dans l'archétype choisi. Une simulation à l'aide du logiciel TRNSYS (version 16.1) a été effectuée pour tester plusieurs configurations d'amélioration afin de déterminer les éléments qui peuvent servir à des conditions meilleures et de rechercher l'archétype le plus économe en énergie dans les régions arides.

### 7.2. Méthodologie de conception d'archétypes bioclimatique

La méthodologie suivie pour vérifier les hypothèses émises. et atteindre les objectifs tracés repose sur deux outils de recherche ; « l'investigation » à travers les mesures in situ et la simulation. L'investigation va se tenir sur la période représentative de la saison chaude.

L'objectif de ce travail est de développer une méthodologie pour réaliser des études de conception de bâtiments à basse consommation d'énergie. La méthodologie consiste à déterminer des archétypes pour l'évaluation des performances énergétique et du confort thermique d'été des bâtiments à l'aide de la simulation numérique.

Notre méthodologie se base premièrement donc sur une observation des formes des maisons. L'abstraction de ces formes en éléments géométriques simples. L'identification des caractéristiques morphologiques par une analyse d'échantillons représentatifs.

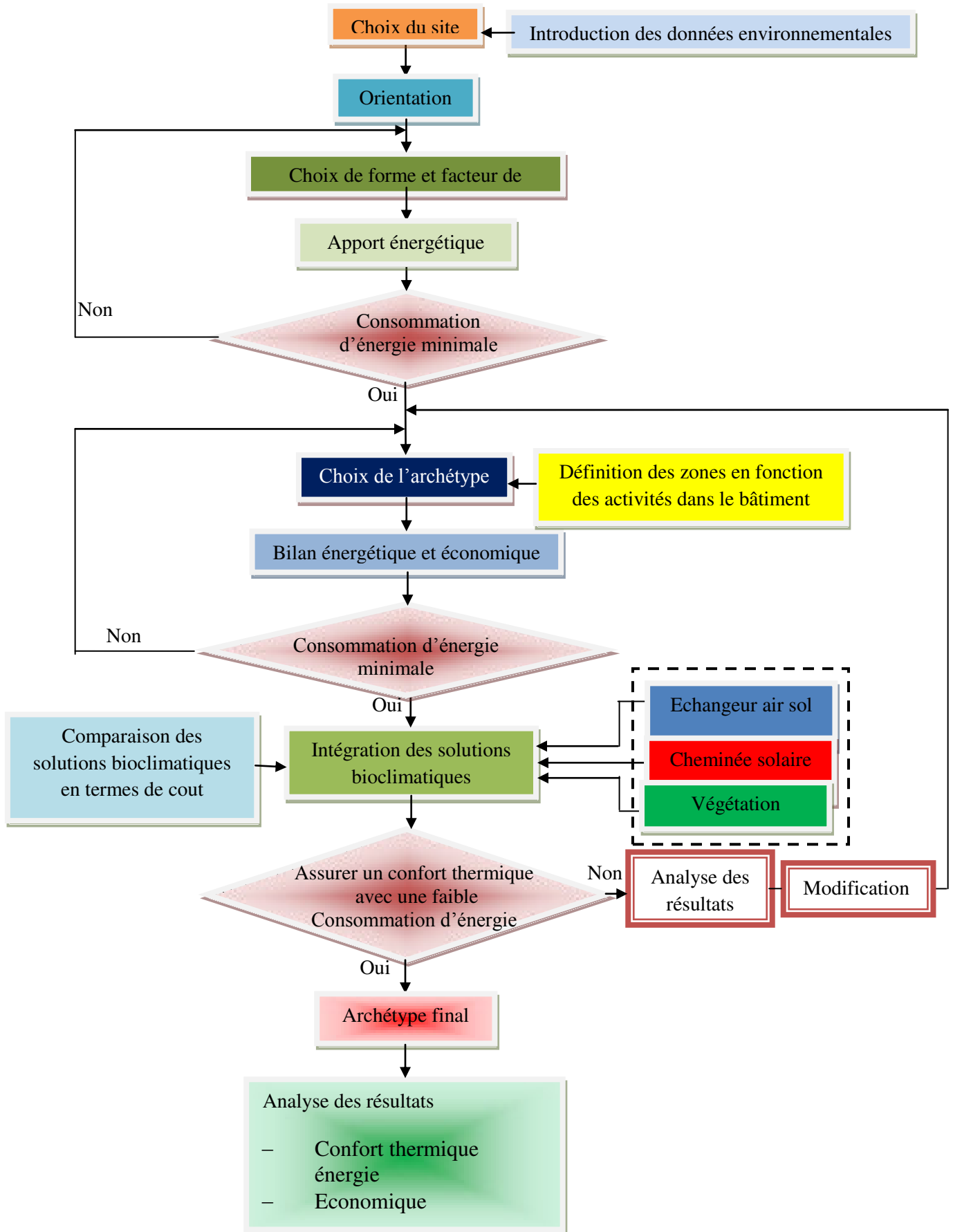


Figure .7.1 : Organigramme de la méthodologie de recherche.

### 7.3. Description des archétypes

L'étude morphologique des bâtiments propose la définition d'une relation entre la configuration du bâtiment et le fonctionnement thermique de l'espace intérieur ; on détermine deux échantillons représentatifs. Notre choix des archétypes est basé en premier lieu sur les résultats obtenues dans le chapitre précédent ; le premier critère du choix sera donc la situation de l'archétype ; en second lieu, la variété et la diversité de ces archétypes sur le plan volumique. Notons que l'appréciation de la perception thermique des usagers est un élément très important pour le choix des échantillons.

Le type d'activité et le taux de fréquentation de l'espace permet de disposer les espaces suivant les besoins énergétiques. Cela permet de réduire les besoins de climatisation et de chauffage des bâtiments et d'en augmenter le confort.

L'orientation des façades a de l'importance. De ce fait, il est préférable que la façade principale soit orientée vers le nord. Les pièces à vivre sont orientées de préférence vers le nord. Les pièces secondaires et les espaces de rangement sont plutôt situés côté sud.

- Pour un bon séjour frais en été les façades principales de la construction doivent faire face au Nord.
  - Les façades face au sud-est et sud-ouest offrent les avantages de régularité d'insolation, mais elles sont froides en hiver et chaudes en été que les façades face au sud.
  - Des espaces tampons aménagés en locaux non chauffés (sas d'entrée, garage, cellier...) et adossés au sud et à l'Est de l'habitation la protègent du chaud. Ils se comportent comme une isolation thermique et diminuent les pertes de chaleur. Un grenier non aménagé peut aussi remplir cette fonction. Pour bien jouer leur rôle, les espaces tampons doivent être séparés des locaux habités par l'isolation de l'habitation

Les deux archétypes choisis ont la même forme architecturale, mais diffèrent dans l'organisation des pièces intérieures.

#### 7.3.1. Ville de Béchar

##### 7.3.1.1. Archétype A et Archétype B

Les archétypes proposés sont définis à partir des résultats obtenus dans le chapitre précédent. Ils sont toutes des maisons individuelles de 120 m<sup>2</sup> de surface. Pour la ville de Béchar la forme « Plus » est la forme la plus économique en matière de coût d'énergie et cela suite à une consommation relativement plus basse. Sous les conditions climatiques de Béchar

on remarque que la consommation énergétique de climatisation est plus basse dans le cas où le facteur de forme est égale 0.725 m-1. Les figures (7.3) et (7.2) représentent les deux archétypes proposés.

L'archétype A est composé d'un séjour orienté au Nord, une cuisine est située au Nord- Est, deux chambre l'une orientée au Nord-Ouest et l'autre au Sud-Est. un garage est situé au Sud et deux salles de bain l'une est orientée au Sud-Ouest et l'autre au Sud-Est.

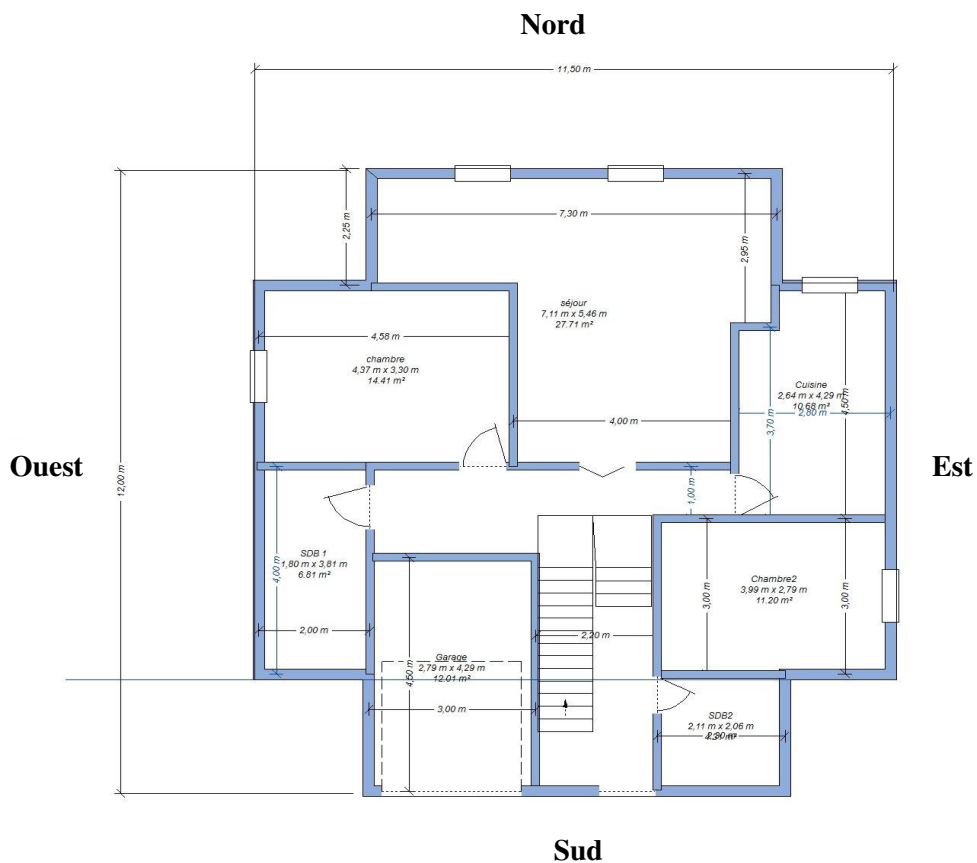


Figure .7.2 : Archétype A.

L'archétype B est composé d'un séjour orienté au Sud, une cuisine est située au Sud-ouest, deux chambre l'une orientée au Sud-est et l'autre au Nord-Ouest, un garage est situé au Nord et deux salles de bain l'une est orientée au Nord-est et l'autre au Nord-Ouest.

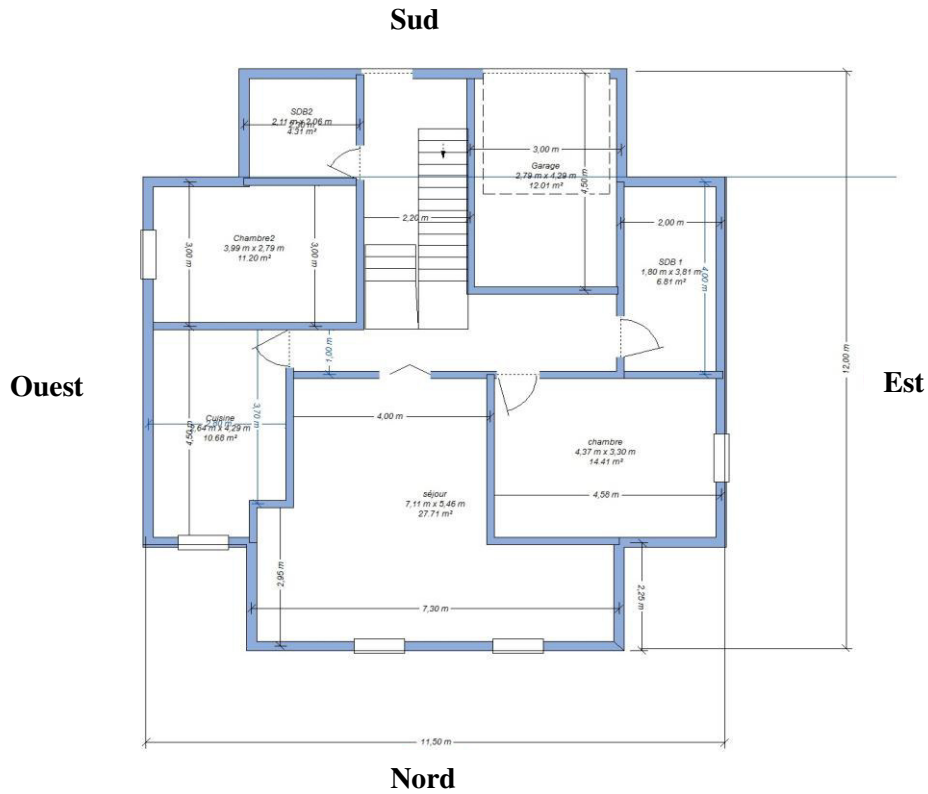


Figure .7.3 : Archétype B.

### 7.3.1.2. Intégration des solutions bioclimatique dans l'archétype A

#### a. Cheminée solaire

La performance énergétique du bâtiment a été augmentée avec l'intégration de la cheminée solaire. Le tableau 7.1 représente les valeurs de la consommation énergétique pour chaque mois de l'année.

Tableau 7.1: Consommation énergétique pour l'archétype A sans et avec la cheminée solaire (ville de Béchar)

Mois	Qc (kWh/m <sup>2</sup> )					
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Sans cheminée solaire	10.35	4.09	0.26	0.07	9.03	19.60
Avec cheminée solaire	8.95	3.17	0.3	0.02	8.29	18.85
Mois	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Sans cheminée solaire	28.32	26.95	14.44	3.05	2.16	11.60
Avec cheminée solaire	25.99	25.37	13.9	2.09	1.48	10.51

## Chapitre 7 : Intégration des solutions bioclimatiques

Le tableau ci-dessus met en évidence que la cheminée solaire a un équilibre de l'énergie positive durant toute l'année. Les économies les plus importantes de la demande d'énergie pour le refroidissement sont obtenues au cours des mois critiques de la période d'été. En Juillet. On peut noter une réduction énergétique de l'ordre de 2.33 kWh/m<sup>2</sup> pour les besoins du refroidissement.

### b. Echangeur air- sol

Pour mieux comprendre l'apport énergétique de l'échangeur air-sol. On a comparé dans le tableau 7.2. La consommation énergétique avec et sans l'échangeur air-sol dans l'archétype A pour chaque mois de l'année.

**Tableau 7.2:** Consommation énergétique pour l'archétype A sans et avec l'échangeur air-sol (ville de Béchar).

Mois	Qc (kWh/m <sup>2</sup> )					
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Sans échangeur air- sol	10.35	4.09	0.26	0.07	9.03	19.60
Avec échangeur air- sol	2.59	0.55	0.18	00	5.12	10.58
Mois	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Sans échangeur air-sol	28.32	26.95	14.44	3.05	2.16	11.60
Avec échangeur air-sol	14.89	14.24	7.22	1.92	0.29	3.29

On constate une meilleure efficacité de l'échangeur air-sol pendant la période estivale comparée à la période hivernale. La réduction de la consommation d'énergie atteint une valeur maximale de 13.43 kWh/m<sup>2</sup> au mois de juillet. Le système d'échangeur air-sol peut être considéré efficace et permet de réduire de manière significative les besoins en énergie électrique utilisés pour le refroidissement de l'espace.

### c. Végétation

Les plantes grimpantes offrent une bonne protection solaire et protègent les murs extérieurs en réduisant le transfert conductif et les gains par rayonnement. L'effet de refroidissement de ces plantes varie selon la densité du feuillage, de son épaisseur et de la surface ombrée (rapport de couverture). Tous ces éléments constituent des paramètres importants créant sans doute le confort thermique intérieur et minimisant la consommation



## Chapitre 7 : Intégration des solutions bioclimatiques

énergétique dans les bâtiments. Le tableau suivant représente la consommation énergétique dans l'archétype « A » avec et sans végétation pour chaque mois de l'année.

**Tableau 7.3:** Consommation énergétique pour l'archétype A sans et avec la végétation (ville de Béchar).

Mois	Qc (kWh/m <sup>2</sup> )					
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
<b>Sans végétation</b>	10.35	4.09	0.26	0.07	9.03	19.60
<b>Avec végétation</b>	10.35	4.09	0.25	0.02	8.46	19.21
Mois	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
<b>Sans végétation</b>	28.32	26.95	14.44	3.05	2.16	11.60
<b>Avec végétation</b>	27.01	25.62	14.38	3.01	2.16	11.60

L'analyse des résultats de la consommation énergétique pour l'archétype « A » a révélé une faible diminution dans le bâtiment avec des murs végétalisés comparés à des murs sans végétation. L'étude a identifié que la réduction de la consommation énergétique dépasse 1.31% au mois de juillet dans le cas de murs végétalisés

### d. une cheminée solaire couplé à un échangeur air-sol et un mur végétalisé

La consommation énergétique d'un archétype « A » qui comprend une cheminée solaire. Un échangeur air-sol et un mur végétalisé est présenté dans le tableau suivant.

**Tableau 7.4:** Consommation énergétique pour l'archétype A sans et avec les solutions bioclimatiques (ville de Béchar).

Mois	Qc (kWh/m <sup>2</sup> )					
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
<b>Sans solutions bioclimatiques</b>	10.35	4.09	0.26	0.07	9.03	19.60
<b>Avec solutions bioclimatiques</b>	3.63	0.95	0.06	00	4.73	10.32
Mois	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
<b>Sans solutions bioclimatiques</b>	28.32	26.95	14.44	3.05	2.16	11.60
<b>Avec solutions bioclimatiques</b>	14.73	14	0.74	1.34	0.45	4.52

Les résultats ont montré que la consommation énergétique dans l'archétype « A » diminue avec l'utilisation des solutions bioclimatiques. On peut noter une réduction énergétique de l'ordre de 48.04% pour les besoins du refroidissement pour le mois de juillet.

Ces systèmes avec une conception convenable peuvent également fournir un environnement intérieur thermiquement confortable pour un grand nombre d'heures dans la période estivale.

**7.3.1.3. Intégration des solutions bioclimatique dans l'archétype B**

**a. Cheminée solaire**

Le tableau ci-dessous présente la consommation énergétique dans l'archétype « B » avec et sans cheminée solaire pour chaque mois de l'année.

**Tableau 7.5:** Consommation énergétique pour l'archétype B sans et avec la cheminée solaire (ville de Béchar).

Mois	Qc (kWh/m <sup>2</sup> )					
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
<b>Sans cheminée solaire</b>	6.53	3.87	3.13	2.04	10.19	20.41
<b>Avec cheminée solaire</b>	6.13	3.57	2.75	1.69	9.85	19.65
Mois	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
<b>Sans cheminée solaire</b>	29.36	28.57	17.21	5.6	1.8	9.18
<b>Avec cheminée solaire</b>	28.89	26.92	16.78	4.77	1.78	8.13

Le tableau 7.7 montre que la consommation énergétique dans l'archétype « B » sans cheminée solaire est nettement supérieure à celle de l'archétype « B » avec cheminée solaire. Marquant un écart maximal de 1.47 kWh/m<sup>2</sup> On enregistre atteint au mois de juillet. Cette valeur est beaucoup plus importante dans le cas de l'archétype A qui a atteint 2.33 kWh/m<sup>2</sup>. Ce qui confirme que l'orientation des façades et l'organisation des pièces intérieures de l'archétype A sont mieux choisies que dans le cas de l'archétype B.

**b. Echangeur air-sol**

Le tableau 7.6 représente les valeurs de la consommation énergétique dans l'archétype « B » sans et avec l'échangeur air-sol pour chaque mois de l'année.

**Tableau 7.6:** Consommation énergétique pour l'archétype B sans et avec l'échangeur air-sol (ville de Béchar).

	<b>Qc (kWh/m<sup>2</sup>)</b>					
<b>Mois</b>	<b>Janvier</b>	<b>Février</b>	<b>Mars</b>	<b>Avril</b>	<b>Mai</b>	<b>Juin</b>
<b>Sans échangeur air- sol</b>	6.53	3.87	3.13	2.04	10.19	20.41
<b>Avec échangeur air- sol</b>	3.08	2.74	2.14	00	5.76	11.29
<b>Mois</b>	<b>Juillet</b>	<b>Août</b>	<b>Septembre</b>	<b>Octobre</b>	<b>Novembre</b>	<b>Décembre</b>
<b>Sans échangeur air- sol</b>	29.36	28.57	17.21	5.6	1.8	9.18
<b>Avec échangeur air- sol</b>	16.71	15.07	8.68	2.64	1.38	4.85

Le tableau 7.6 montre les effets générés par le système d'échangeur air-sol sur la consommation énergétique de climatisation et la performance énergétique des bâtiments. On constate une meilleure efficacité de l'échangeur air-sol pendant la période estivale comparée à la période hivernale. La réduction de la consommation d'énergie atteint une valeur maximale de 12.65kWh/m<sup>2</sup> au mois de juillet. Le système d'échangeur air-sol peut être considéré efficace et permet de réduire de manière significative les besoins en énergie électrique utilisés pour le refroidissement de l'espace, de l'ordre de 44.60 %. Contrairement à la saison d'hiver. . Pendant laquelle la consommation d'énergie de l'archétype « A » avec le système d'échangeur air-sol atteint une valeur maximale de 48.04 %.

### **c. Végétation**

Le tableau (7.7) représente les valeurs de la consommation énergétique dans l'archétype « B » sans et avec végétation pour chaque mois de l'année.

**Tableau 7.7:** Consommation énergétique pour l'archétype B. sans et avec la végétation (ville de Béchar).

	<b>Qc (kWh/m<sup>2</sup>)</b>					
<b>Mois</b>	<b>Janvier</b>	<b>Février</b>	<b>Mars</b>	<b>Avril</b>	<b>Mai</b>	<b>Juin</b>
<b>Sans végétation</b>	6.53	3.87	3.13	2.04	10.19	20.41
<b>Avec végétation</b>	6.53	3.87	2.98	1.89	9.89	20.11
<b>Mois</b>	<b>Juillet</b>	<b>Août</b>	<b>Septembre</b>	<b>Octobre</b>	<b>Novembre</b>	<b>Décembre</b>
<b>Sans végétation</b>	29.36	28.57	17.21	5.6	1.8	9.18
<b>Avec végétation</b>	28.42	26.37	17.04	5.04	1.8	9.18

L'analyse des résultats de la consommation énergétique pour l'archétype « B » a révélé une diminution très importante dans le bâtiment avec des murs végétalisés comparés à des

murs sans végétation. L'étude a identifié que la réduction de la consommation énergétique dépasse 1.94 kWh/m<sup>2</sup> au mois de juillet dans le cas de murs végétalisés.

### d. une cheminée solaire couplé à un échangeur air-sol et un mur végétalisé

La consommation énergétique d'un archétype « A » qui comprend une cheminée solaire. Un échangeur air-sol et un mur végétalisé est présenté dans le tableau suivant.

**Tableau 7.8:** Consommation énergétique pour l'archétype B. sans et avec les solutions bioclimatique (ville de Béchar).

Mois	Qc (kWh/m <sup>2</sup> )					
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
<b>Sans solutions bioclimatiques</b>	6.53	3.87	3.13	2.04	10.19	20.41
<b>Avec solutions bioclimatiques</b>	5.54	2.99	2.22	1.52	6.09	11.73
Mois	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
<b>Sans solutions bioclimatiques</b>	29.36	28.57	17.21	5.6	1.8	9.18
<b>Avec solutions bioclimatiques</b>	16.1	14.03	8	2.82	1.55	5.53

Les résultats ont montré que la consommation énergétique dans l'archétype « B » diminue avec l'utilisation des solutions bioclimatiques. On peut noter une réduction énergétique de l'ordre de 12.74 kWh/m<sup>2</sup> pour les besoins du refroidissement pour le mois de juillet. Ce qui explique que le système de l'échangeur air-sol a fourni un bon effet de refroidissement passif.

### 7.3.2. Ville de Ouargla

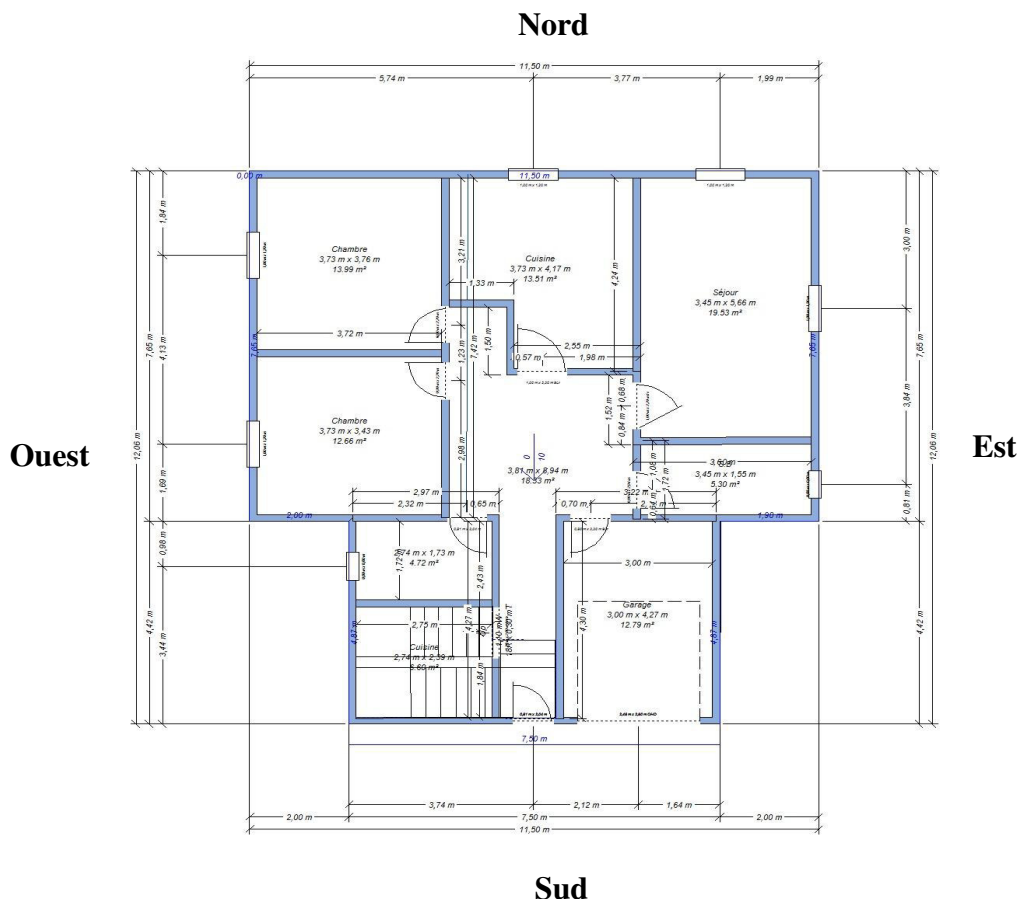
#### 7.3.2.1. Archétype A et archétype B

Il est préférable d'orienter les pièces à vivre au Nord, telles que le salon, les chambres principales. Les chambres principales peuvent également être orientées au Sud-est. Il est préférable de placer la cuisine au Nord : en effet, c'est une pièce qui dégage beaucoup de chaleur à cause des appareils de cuisson. Les salles de bain sont des pièces ne nécessitant que peu, voire pas d'ouvertures, ni un ensoleillement. Il est donc conseillé de les placer au sud ou au Nord. Les espaces tampons (garage, les escaliers), se comporteront comme des isolants thermiques, seront de préférence disposés côté Sud. Selon les résultats obtenus dans le chapitre précédent, une réduction d'énergie importante pourrait être obtenue sous les conditions climatiques de la ville de Ouargla si un maison individuel de 120m<sup>2</sup> prend la

## Chapitre 7 : Intégration des solutions bioclimatiques

forme « T ». on trouve que la consommation énergétique de climatisation est plus basse dans le cas où le facteur de forme est égale  $0.725 \text{ m}^{-1}$ . Les figures (7.4) et (7.5) représentent les deux archétypes proposés.

L'archétype A est composé d'un séjour orienté au Nord-Est, une cuisine est située au Nord, deux chambre l'une orientée au Nord-Ouest et l'autre au Sud-Ouest, un garage est situé au Sud-Est et deux salles de bain l'une est orientée Ouest et l'autre au Sud-Est.



L'archétype B est composé d'un séjour orienté au Sud-Ouest, une cuisine est située au Nord, deux chambre l'une orientée au Sud-Est et l'autre au Nord-Est, un garage est situé au Nord-Ouest et deux salles de bain l'une est orientée Est et l'autre au Nord-Ouest.

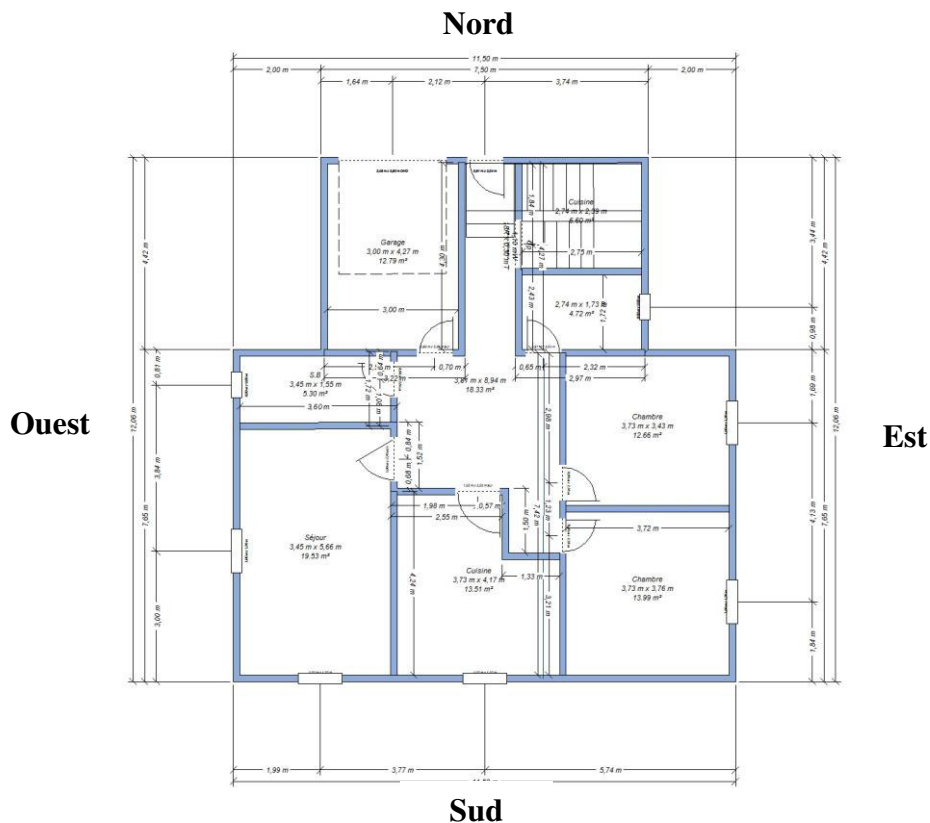


Figure. 7.5 : Archétype B.

### 7.3.2.2. Intégration des solutions bioclimatique dans l'archétype A

#### a. Cheminée solaire

La performance énergétique du bâtiment a été augmentée avec l'intégration de la cheminée solaire. Le tableau (7.9) représente les valeurs de la consommation énergétique pour chaque mois de l'année.

Tableau 7.9: Consommation énergétique pour l'archétype A sans et avec la cheminée solaire (ville de Ouargla).

Mois	Qc (kWh/m <sup>2</sup> )					
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Sans cheminée solaire	15.17	8.30	6.18	5.67	10.39	18.21
Avec cheminée solaire	13.93	7.23	4.13	2.58	9.47	15.14
Mois	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Sans cheminée solaire	24.23	22.32	14.24	7.19	6.53	13.84
Avec cheminée solaire	20.16	19.14	10.26	4.25	4.45	11.65

## Chapitre 7 : Intégration des solutions bioclimatiques

Le tableau ci-dessus met en évidence que la cheminée solaire a un meilleur équilibre de l'énergie positive durant toute l'année. Les économies les plus importantes de la demande d'énergie pour le refroidissement sont obtenues au cours des mois critiques de la période d'été. En Juillet. On peut noter une réduction énergétique de l'ordre de  $4.07 \text{ kWh/m}^2$  pour les besoins du refroidissement.

### b. Echangeur air- sol

Le tableau 7.10 la consommation énergétique avec et sans l'échangeur air-sol dans l'archétype A pour chaque mois de l'année.

**Tableau 7.10:** Consommation énergétique pour l'archétype A sans et avec l'échangeur air-sol (ville de Ouargla).

Mois	Qc (kWh/m <sup>2</sup> )					
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Sans échangeur air- sol	15.17	8.30	6.18	5.67	10.39	18.21
Avec échangeur air- sol	6.78	3.3	2.41	0.00	5.47	8.3
Mois	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Sans échangeur air- sol	24.23	22.32	14.24	7.19	6.53	13.84
Avec échangeur air- sol	10.48	10.43	6.32	3.01	2.59	5.99

On constate une meilleure efficacité de l'échangeur air-sol pendant la période estivale comparée à la période hivernale. La réduction de la consommation d'énergie atteint une valeur maximale de  $13.75 \text{ kWh/m}^2$  au mois de juillet. Le système d'échangeur air-sol peut être considéré efficace et permet de réduire de manière significative les besoins en énergie électrique utilisés pour le refroidissement de l'espace, de l'ordre de 56.74 %. Contrairement à la saison d'hiver.

### c. Végétation

Le tableau suivant représente la consommation énergétique dans l'archétype « A » avec et sans végétation pour chaque mois de l'année.

**Tableau 7.11:** Consommation énergétique pour l'archétype A sans et avec la végétation (ville de Ouargla).

	Qc (kWh/m <sup>2</sup> )					
Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Sans végétation	15.17	8.30	6.18	5.67	10.39	18.21
Avec végétation	15.17	8.3	5.85	2.45	7.58	15.52
Mois	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Sans végétation	24.23	22.32	14.24	7.19	6.53	13.84
Avec végétation	21.37	19.35	11.61	4.62	6.53	13.84

L'analyse des résultats de la consommation énergétique pour l'archétype « A » a révélé une diminution très importante dans le bâtiment avec des murs végétalisés comparés à des murs sans végétation. L'étude a identifié que la réduction de la consommation énergétique dépasse 1.18 % au mois de juillet dans le cas de murs végétalisés.

**d. une cheminée solaire couplé à un échangeur air-sol et un mur végétalisé**

La consommation énergétique d'un archétype « A » qui comprend une cheminée solaires, un échangeur air-sol et un mur végétalisé est présenté dans le tableau suivant.

**Tableau 7.12:** Consommation énergétique pour l'archétype A sans et avec les solutions bioclimatique (ville de Ouargla).

	Qc (kWh/m <sup>2</sup> )					
Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Sans solutions bioclimatiques	15.17	8.30	6.18	5.67	10.39	18.21
Avec solutions bioclimatiques	8.51	5.09	4.32	4.00	6.59	10.44
Mois	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Sans solutions bioclimatiques	24.23	22.32	14.24	7.19	6.53	13.84
Avec solutions bioclimatiques	13.62	12.57	8.51	5.17	4.46	7.67

Les résultats ont montré que la consommation énergétique dans l'archétype « A » diminue avec l'utilisation des solutions bioclimatiques. On peut noter une réduction énergétique de l'ordre de 43.78 % pour les besoins du refroidissement pour le mois de juillet.

**7.3.2.3. Intégration des solutions bioclimatique dans l'archétype B**

**a. Cheminée solaire**

Le tableau ci-dessous présente la consommation énergétique dans l'archétype « B » avec et sans cheminée solaire pour chaque mois de l'année.



**Tableau 7.13:** Consommation énergétique pour l'archétype B sans et avec la cheminée solaire (ville de Ouargla).

	<b>Qc (kWh/m<sup>2</sup>)</b>					
<b>Mois</b>	<b>Janvier</b>	<b>Février</b>	<b>Mars</b>	<b>Avril</b>	<b>Mai</b>	<b>Juin</b>
<b>Sans cheminée solaire</b>	13.30	5.72	4.36	4.96	12.35	21.34
<b>Avec cheminée solaire</b>	13.54	5.37	3.68	2.86	3.19	20.74
<b>Mois</b>	<b>Juillet</b>	<b>Août</b>	<b>Septembre</b>	<b>Octobre</b>	<b>Novembre</b>	<b>Décembre</b>
<b>Sans cheminée solaire</b>	28.35	25.87	16.89	8.52	4.8	11.55
<b>Avec cheminée solaire</b>	22.13	25.63	16.01	7.17	4.09	11.72

Le tableau ci-dessus met en évidence que la cheminée solaire a un meilleur équilibre de l'énergie positive durant toute l'année. Les économies les plus importantes de la demande d'énergie pour le refroidissement sont obtenues au cours des mois critiques de la période d'été. En Juillet. On peut noter une réduction énergétique de l'ordre de 3.20% pour les besoins du refroidissement.

**b. Echangeur air-sol**

Le tableau (7.14) la consommation énergétique avec et sans l'échangeur air-sol dans l'archétype A pour chaque mois de l'année.

**Tableau 7.14:** Consommation énergétique pour l'archétype B sans et avec l'échangeur air sol (ville de Ouargla).

	<b>Qc (kWh/m<sup>2</sup>)</b>					
<b>Mois</b>	<b>Janvier</b>	<b>Février</b>	<b>Mars</b>	<b>Avril</b>	<b>Mai</b>	<b>Juin</b>
<b>Sans échangeur air- sol</b>	13.30	5.72	4.36	4.96	12.35	21.34
<b>Avec échangeur air- sol</b>	10.51	5.17	4.21	3.46	9.75	14.05
<b>Mois</b>	<b>Juillet</b>	<b>Août</b>	<b>Septembre</b>	<b>Octobre</b>	<b>Novembre</b>	<b>Décembre</b>
<b>Sans échangeur air-sol</b>	28.35	25.87	16.89	8.52	4.8	11.55
<b>Avec échangeur air-sol</b>	18.03	16.25	10.79	5.83	4.55	8.72

On constate une meilleure efficacité de l'échangeur air-sol pendant la période estivale comparée à la période hivernale. La réduction de la consommation d'énergie atteint une valeur maximale de 10.32 kWh/m<sup>2</sup> au mois de juillet. Le système d'échangeur air-sol peut être considéré efficace et permet de réduire de manière significative les besoins en énergie électrique utilisés pour le refroidissement de l'espace. Pendant laquelle la consommation

d'énergie de l'archétype « A » avec le système d'échangeur air-sol atteint une valeur maximale de 13.75 kWh/m<sup>2</sup> au mois de janvier.

### c. Végétation

Le tableau suivant représente la consommation énergétique dans l'archétype « B » avec et sans végétation pour chaque mois de l'année.

**Tableau 7.15:** Consommation énergétique pour l'archétype B sans et avec la végétation (ville de Ouargla)

Mois	Qc (kWh/m <sup>2</sup> )					
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Sans végétation	13.30	5.72	4.36	4.96	12.35	21.34
Avec végétation	13.30	5.72	2.36	3.11	11.73	19.41
Mois	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Sans végétation	28.35	25.87	16.89	8.52	4.8	11.55
Avec végétation	26	23.46	17.82	6.71	4.8	11.55

L'analyse des résultats de la consommation énergétique pour l'archétype « B » a révélé une diminution très importante dans le bâtiment avec des murs végétalisés comparés à des murs sans végétation. L'étude a identifié que la réduction de la consommation énergétique dépasse 1.35 kWh/m<sup>2</sup> au mois de juillet dans le cas de murs végétalisés.

### d. une cheminée solaire couplé à un échangeur air-sol et un mur végétalisé

La consommation énergétique d'un archétype « A » qui comprend une cheminée solaires, un échangeur air-sol et un mur végétalisé est présenté dans le tableau suivant.

**Tableau 7.16:** Consommation énergétique pour l'archétype B sans et avec les solutions bioclimatique (ville de Ouargla).

Mois	Qc (kWh/m <sup>2</sup> )					
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Sans solutions bioclimatiques	13.30	5.72	4.36	4.96	12.35	21.34
Avec solutions bioclimatiques	7.87	3.89	3.11	3.55	7.99	13.04
Mois	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Sans solutions bioclimatiques	28.35	25.87	16.89	8.52	4.8	11.55
Avec solutions bioclimatiques	16.79	14.97	9.73	4.93	3.42	7.15

Les résultats ont montré que la consommation énergétique dans l'archétype « B » diminue avec l'utilisation des solutions bioclimatiques. On peut noter une réduction énergétique de l'ordre de 41.30 % pour les besoins du refroidissement pour le mois de juillet.

### 7.3.3. Comparaison de la consommation énergétique entre les deux villes

#### 7.3.3.1. Ville de Béchar

**Tableau 7.17 :** Consommation énergétique pour l'archétype « A » et l'archétype « B » (ville de Béchar).

	Qc (kWh/m <sup>2</sup> ·an)	
	Archétype A	Archétype B
<b>Habitation</b>	129.92	138.19
<b>Avec cheminée solaire</b>	118.92	131.09
<b>Avec échangeur air-sol</b>	60.87	74.34
<b>Avec végétation</b>	126.16	132.99
<b>Avec solutions bioclimatiques</b>	55.47	78.12

Si l'on compare l'énergie utilisée dans l'archétype A avec celle dans l'archétype B, la différence atteint une valeur maximale de 8.27 kWh/m<sup>2</sup> par année dans le cas d'une habitation simple. Les archétypes choisis pour la ville de Béchar ont été refroidis par la ventilation naturelle entraînée par les trois solutions bioclimatiques proposées. Comme représenté dans le tableau 7.17, il est clair que le système couplé peut maintenir les conditions de confort thermique à l'intérieur des archétypes, l'installation des trois systèmes permet de réduire la consommation énergétique annuelle jusqu'à 74.45 kWh/m<sup>2</sup>.an dans l'archétype A et 60.78 kWh/m<sup>2</sup>.an dans l'archétype B. Le système de la cheminée solaire permet de réduire la consommation énergétique annuelle de l'ordre de 8.46 % dans l'archétype A et de 5.13 % dans l'archétype B. Avec l'installation d'un échangeur air-sol on peut diminuer la consommation énergétique annuelle jusqu'à 46.12 % dans l'archétype A et de 46.20 % dans l'archétype B. On observe une faible diminution avec l'intégration d'un mur végétalisé, la consommation énergétique atteint une valeur de 3.76 kWh/m<sup>2</sup> dans l'archétype A et de 5.2 kWh/m<sup>2</sup> dans l'archétype B.

#### 7.3.3.2. Ville de Ouargla

La consommation énergétique annuelle nécessaire dans l'archétype « A » et l'archétype « B » est présentée dans le tableau suivant :

**Tableau 7.18:** Consommation énergétique pour l'archétype « A » et « B » (ville de Ouargla).

	Qc (kWh/m <sup>2</sup> .an)	
	Archétype A	Archétype B
<b>Habitation</b>	152.27	153.97
<b>Avec cheminée solaire</b>	136.17	149.13
<b>Avec échangeur air-sol</b>	122.39	134.32
<b>Avec végétation</b>	131.19	141.97
<b>Avec solutions bioclimatiques</b>	90.95	96.44

Si l'on compare l'énergie utilisée dans l'archétype A avec celle dans l'archétype B, la différence atteint une valeur de 1.7 kWh/m<sup>2</sup> par an dans le cas d'une habitation simple. Le même phénomène est observé dans le cas de rajout d'un système passif tels que la cheminée solaire, l'échangeur air-sol ou la végétation. Le système de la cheminée solaire permet de réduire la consommation énergétique annuelle de l'ordre de 10.57 % dans l'archétype A et de 3.14 % dans l'archétype B. Avec l'installation d'un échangeur ai-sol on peut diminuer la consommation énergétique annuelle jusqu'à 19.62 % dans l'archétype A et de 12.76 % dans l'archétype B. On observe une faible diminution avec l'intégration d'un mur végétalisé, la consommation énergétique atteint une valeur de 21.08 kWh/m<sup>2</sup> dans l'archétype A et de 14 kWh/m<sup>2</sup> dans l'archétype B. Les résultats montrent que le système couplé peut maintenir les conditions de confort thermique à l'intérieur de l'environnement à une gamme favorable.

#### **7.4. Conclusion**

Le confort thermique, l'économie et la conservation de l'énergie sont des principales considérations fonctionnelles dans les bâtiments. Un système solaire passive comprend un cheminée solaire, un échangeur air sol et un mur végétalisé est très efficace pour le rafraichissement de l'air pendant l'été car il réduit la consommation énergétique de climatisation de plus de 50% dans les deux villes étudiées. Ces trois systèmes sont faisables pour assurer la ventilation naturelle de l'air à l'intérieur des bâtiments. La présente étude montre que les performances de ce système dépendent du rayonnement solaire, de la température de l'air extérieur.

# **Conclusion Générale**

## **Conclusion générale**

Le confort thermique constitue actuellement un enjeu majeur dans le secteur du bâtiment tant pour la qualité des ambiances intérieures que pour les impacts énergétiques et environnementaux dont il est responsable. L'objectif principal de ce travail était le développement d'une méthodologie pour mener à bien des études de conception de bâtiments à basse consommation d'énergie. Le principe de la méthodologie a été de développer à l'aide d'outils de simulation numérique et en se basant sur la méthode des plans d'expériences, des modèles pour l'évaluation des performances énergétiques et du confort thermique des bâtiments. Dans notre travail, nous avons étudié le fonctionnement et l'effet des solutions bioclimatique telles que la cheminée solaire, l'échangeur air-sol, la végétation, la forme en plan et l'orientation sur la consommation énergétique dans les bâtiments.

La forme du bâtiment a été toujours considérée comme étant l'élément régulateur des transferts de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur. Le choix de la forme et de l'orientation joue un rôle important pour créer le confort thermique dans les bâtiments.

Une analyse typo-morphologique des échantillons de formes choisies et analysées pour comprendre le comportement thermique des différentes formes de construction dans les climats chauds et aride.

Les résultats montrent que la morphologie des bâtiments est un paramètre important de conception dans le processus de conception d'un projet efficacement énergétique. Plusieurs séries de simulations ont été réalisées pour différents coefficients de forme

D'après les comparaisons qu'on a faites, on peut conclure que la forme la plus performante d'un point de vue énergétique est la forme « T » pour la ville d'Ouargla. La forme « Plus » est la forme la plus économique en matière de coût d'énergie et cela suite à une consommation relativement plus basse. La consommation d'énergie à Ouargla est largement supérieure à celle à Béchar, et cela est dû aux conditions environnementales très différentes en période estivale. Ces valeurs sont liées à la température extérieure et aussi à la performance de chaque construction. La forme « Plus » est la forme la plus performante pour la ville de Béchar. Le choix de la forme permet de minimiser la consommation énergétique de climatisation. L'amélioration de l'enveloppe montre un effet important sur la performance énergétique.

## Conclusion générale

---

L'analyse des résultats nous a permis de dégager des lignes directrices pour la conception des bâtiments. Pour le climat aride, il est impératif de prévoir un système de ventilation naturelle. Nous avons évalué des solutions passives pour la rafraîchissement du bâtiment, à savoir l'utilisation de la cheminée solaire, échangeur air-sol et la végétation. Ces solutions ont permis d'assurer le confort thermique d'été pour les climats arides.

Tout d'abord, nous avons réalisé une analyse de fonctionnement d'une cheminée solaire et la détermination de l'épaisseur et de l'inclinaison qui assurent les débits d'air important. Pour ce qui concerne l'étude expérimentale, nous avons étudié le comportement de la cheminée pour deux angles d'inclinaison ( $30^\circ$  et  $45^\circ$ ) et de trois épaisseurs de lame d'air entre l'absorbeur et la vitre. Les résultats montrent que :

- La température de l'air dans la cheminée solaire dépend de l'intensité du rayonnement solaire.
- Le système a permis d'obtenir des températures d'air et des débits assez élevées à la sortie de la cheminée, favorables pour les exploiter dans la ventilation naturelle.
- L'augmentation de l'épaisseur de lame d'air joue un rôle très important et augmente significativement le débit volumique de l'air sortant de la cheminée.
- Le tirage thermique optimal correspond à une inclinaison d'un angle de  $45^\circ$  par rapport à l'horizontale.

Dans la deuxième étape Une simulation numérique a été réalisée pour faire la conception d'un modèle d'échangeur air-sol dans la quelle le travail est orienté vers l'analyse et la prévision de l'influence des différents paramètres de dimensionnement sur la performance de notre système.

L'intérêt de cette partie réside dans le fait que le système échangeur air-sol est capable de diminuer la température des locaux atteignant une valeur de  $8^\circ\text{C}$ . Pour atteindre cette efficacité, les recommandations peuvent être résumées comme suite :

- La longueur du puits doit être comprise entre 40 et 45 mètres. En-dessous de 40 mètres, l'échangeur ne permet pas d'obtenir une température de sortie proche de celle du sol, car le rendement de l'échange est moyen ; au-delà de 45 mètres, le rendement n'augmente plus de manière significative.
- Le diamètre de la conduite et le débit d'air sont liés à la vitesse de l'air parcourant le puits ; celle-ci ne doit pas dépasser les 2 mètres par seconde, afin de ne pas induire

## Conclusion générale

---

des pertes de charges trop importantes dans le puits. Pour un débit significatif, le diamètre doit être compris entre 16 et 25 centimètres.

- La température de sortie est directement liée à la température du sol. Son amplitude diminue fortement avec la profondeur. Par exemple, nous avons obtenu une chute de température de 9.5 °C à 2.5 mètres et de 6 °C à 1 mètres. Du fait, le puits doit être enterré assez profondément que possible, de manière à profiter au mieux de l'inertie du sol.
- L'apport thermique d'échangeur air-sol doit enfin être confronté à la surconsommation électrique des ventilateurs, qui doivent à la fois établir le flux d'air (énergie cinétique) et vaincre les pertes de charge du système de ventilation (énergie de frottement).

La troisième partie, expérimentale, consiste en une investigation in situ des phénomènes physiques du confort hygrothermique estival. Ses objectifs sont, d'une part, l'évaluation du confort hygrothermique des bâtiments sous l'effet de mur et toiture végétal sous le climat aride de Ouargla, et d'autre part, la mise en évidence des différents paramètres déterminants dans l'efficacité de cet mur et toiture afin de pouvoir déterminer leurs effets sur les conditions intérieures de confort thermique.

L'expérience est basée sur une campagne de mesures in situ de plusieurs paramètres physiques tels que : la température de l'air, les températures de surface, l'humidité de l'air. Avec une intensité de radiation imposée (valeur constant).

Les résultats confirment bien l'influence de la végétation sur l'amélioration du microclimat extérieur et intérieur, se traduisant par l'ombrage permanent du végétal sur les surfaces verticales évitant ainsi leurs surchauffes.

La présence de la végétation sur les parois verticales des maisons permet de diminuer la température de l'air par évapotranspiration d'eau. En outre, la végétation réduit la température de surface par l'ombre qu'elle procure.

les résultats, révèlent que la densité, l'épaisseur et le rapport de couverture du feuillage ainsi que la typologie ont un effet significatif sur le comportement thermique du mur et jouent un rôle prépondérant dans l'amélioration du confort intérieur.



## Conclusion générale

---

En effet, l'installation de la toiture végétale au-dessus de la chambre testée a réduit les températures de l'air intérieur et les températures de la surface interne du toit. En effet, la température de l'air intérieur est fonction de plusieurs paramètres, dont l'interrelation conditionne le comportement thermique de la toiture végétale et son efficacité.

Nous terminerons ce travail par une étude comparative de consommation énergétique dans deux archétypes choisis suite aux résultats préliminaires intégrant le choix optimal pour l'orientation et la forme et ceci pour deux sites qui sont en l'occurrence Ouargla et Béchar. Ce travail étudie les différentes possibilités d'intégration architecturale des systèmes passifs dans deux archétypes différents.

Dans le contexte énergétique actuel, les systèmes solaires sont fortement développés dans le secteur du bâtiment. Parmi ces systèmes on a la cheminée solaire .ce système assure la ventilations naturelle dans les bâtiments, il permet de réduire la consommation énergétique de l'ordre de 8.46 % .L'intégration de l'échangeur air-sol au bâtiment représente une faible consommation énergétique annuelle. L'intérêt de l'échangeur air-sol est majeur, puisqu'il améliore tout au long de l'année, les conditions thermiques. Qu'il soit utilisé en mode réchauffement en hiver ou refroidissement en été, il intervient de manière efficace sur l'amortissement des amplitudes thermiques. Sous les conditions climatiques de Ouargla, la consommation énergétique pour l'archétype « A » a révélé une diminution très importante dans le bâtiment avec échangeur air-sol comparés à une bâtiment sans échangeur air-sol. Ce système permet de diminuer la consommation énergétique annuelle jusqu'à 46.12 % dans l'archétype A et de 46.20 % dans l'archétype B. Dans la ville de Béchar, la consommation énergétique annuelle réduit jusqu'à 46.12 % dans l'archétype A et de 46.20 % dans l'archétype B.

Le mur végétalisé est le système le moins efficace par rapport aux autres systèmes étudiés. Le système couplé a réussi à maintenir les conditions de confort thermique à l'intérieur de l'environnement à une gamme favorable de confort thermique. Il réduit la consommation énergétique de climatisation de plus de 50% dans les deux villes étudiées.

# **Bibliographie**

## **Bibliographie**

**Abohela** I, Hamza. N., Dudek S., 2013. Effect of roof shape, wind direction, building height and urban configuration on the energy yield and positioning of roof mounted wind turbines. *Renewable Energy*, Vol : 50, pp . 1106–1118.

**Abbaoui** H, Djemili A, 2010; Impact de la végétation sur l'environnement urbain en milieu aride et semi-aride. L'exemple de Biskra,; 3ème Séminaire International sur la Gestion des Villes, 8 et 9 Décembre 2010, MSILA.

**Abbaoui** H, 2006,. L'impact de la vegetation sur le climat urbain dans les milieux arides. Cas d'étude : Biskra, Mémoire de Magister, Université Mohamed Khider , Biskra.

**Aboura** R; Benmansour D, Benabadji N., 2006,. Comparison and phytoecology of atriplex communities in Oran region (algeria), *Ecologia mediterranea*, Vol : 32, pp. 73-84.

**Achour-boukkaz** N, 2006, La relation entre l'îlot de chaleur urbain, phénomène du changement climatique et la densité du plan bâti - Cas de la ville d'Alger ». Mémoire de magistère, Université Mentouri, Constantine.

**ASHRAE**, 1992, system and equipment, handbook, ASHRAE , Atlanta.

**Adam** Z, Toshio Y, Hisashi K., (2002). Mathematical model and experimental study of air flow in solar chimneys, Natural ventilation in Osaka, University, Japan

**AIE**, 2011, World Energy Outlook 2011 .

**AIE**, 2014., World Energy Outlook 2014 .

**Ait-Mekideche** M., 2013, Point sur les réalisations Passage été 2013, projets en cours pour satisfaire la demande à l'horizon 2017 et stratégie de réalisation des ouvrages de production, Newsletter n°26 - Septembre 2013, SONALGAZ.

**Ait-Mekideche** M, 2014,. Synthèse des bilans d'activités et Comptes sociaux consolidés 2013 des sociétés du Groupe Sonelgaz Juin 2014; Newsletter presse n°29.

**Akchiche** Z, 2011, Etude de comportement d'une cheminée solaire en vue de l'isolation thermique, Mémoire de magistère, Université Kasdi Merbah, Ouargla

**Amous** M.S, 2010, Stratégies Méditerranéennes et Nationales de Développement Durable - Efficacité Énergétique et Énergie Renouvelable Tunisie – Résumé de l'étude nationale, (France).

**Amr Sayed** H. A, Yoshino H, Tomonobu G, Napoleon E, Magdy M. R, Abdelsamei Eid M, 2014, Parametric investigation of solar chimney with new cooling tower integrated in a single room for New Assiut city, Egypt climate, *Energy and Environmental Engineering*, DOI 10.1007/s40095-014-0092-6.

**APRUE**, Agence Nationale pour la Promotion et Rationalisation de l'Utilisation de l'énergie, (2012). Consommation Énergétique Finale de l'Algérie.

**Assimakopoulou** M, Tsangrassoulis A, Guarracino G, Santamouris M, 2007, Comparing

the energy performance of an electrochromic window under various control strategies Building and Environnement, Vol : 42, pp:120-130.

**Assyl S**, 2004, Revue de SONATRACH -Réseau N° 3 Avril 2004 p30.

**Attia S**, 2000, The role of landscape design in improving the microclimate in traditional courtyard building in hot arid climates, proceeding of PLEA conference, Genève,pp:22-28.

**Bacharoudis E**, Michalis G, Vrachopoulos M, Koukou, Dionysios K, Andronikos M. E, Stamatis F, Mavrommatis, 2007,A. Study of the natural convection phenomena inside wall solar chimney with one wall adiabatic and one wall under a heat flux, Applied Thermal Engineering Vol : 27, pp. 2266–2275.

**Bardou, P.** Arzoumanian V. 1978. Archi de soleil Editions Parenthèses, Roquevaire.

**Bassiouny R**, Koura N.S.A, 2008, An analytical and numerical study of solar chimney use for room natural ventilation, Energy and Buildings, Vol : 40, pp. 865–873.

**BBR**, 2014, Évaluation d'impact BBR 2014 – Modification du règlement de la construction (BBR), sections 1, 5, 6, 7 et 8, Administration suédoise du logement, de la construction et de l'aménagement du territoire, février 2014,J. n°: 1201-2770/2013.

**Bekkouche S.M.A**, Benouaz T, Cherier M.K, Hamdani M, Yaiche M.R, Benamrane, N, 2013, Influence of the compactness index to increase the internal temperature of a building in Saharan climate, Energy and Buildings, Vol: 66, pp: 678–687.

**Bekkouche S.M.A**, Benouaz T, Yaiche . M.R, Cherier M.K, Hamdani M, Chellali F , 2011, Introduction to control of solar gain and internal temperatures by thermal insulation, proper orientation and eaves, Energy and Buildings, Vol:43, pp :2414–2421

**Bellara S**, 2005, Impact de l'orientation sur le confort thermique intérieur dans l'habitation collective : Cas de la nouvelle ville Ali Mendjeli, Constantine, Université Mentouri de Constantine.

**Bencheikh H**, 2007, Etude et réalisation d'un système de refroidissement passif en utilisant une toiture radio évaporative dans les climats chauds et arides, Thèse doctorat, Université Mentouri de Constantine.

**Benfatah H**, Moumami N, Hatraf, Moumami N. A, Youcef Ali S; 2010, Etude théorique et expérimentale du rafraichissement par la géothermie, application à l'habitat, Séminaire International sur le Génie Climatique et l'Énergétique, SIGCLE, Constantine.

**Benhalilou K**, 2008,.Impact de la végétation grimpante sur le Confort hygrothermique estival du bâtiment cas du climat semi aride, Mémoire de magistère, Université Mentouri, Constantine.

**Berghout B**, 2012, Effet de l'implantation d'un bâtiment collectif sur le confort hygrothermique intérieur cas de Biskra, Algérie, Mémoire présenté à l'école de technologie supérieure comme exigence partielle à l'obtention de la maîtrise en génie de la construction m. ing. , Montréal., France.

**Bernier A**, 2011, Végétalisation du bâtiment en milieu urbain: bénéfiques et perspectives,

thèse doctorat, Université Du Québec A Montréal.

**BM**, Banque mondial, 2012, Rapport annuel 2012

**Bouattour M**, Alain F, 2009, La végétalisation Des bâtiments, direction Régionale de l'équipement, L'île, France.

**Boulkenafet N**, 2014, Gestion et Optimisation de la Réhabilitation Thermique des Bâtiments, Université 20 Août 1955, Skikda.

**Boumaouch N**, 2006, Prise en compte de l'humidité dans le projet de réhabilitation des maisons vernaculaires cas de la médina de Constantine, Mémoire de magistère, Université Mentouri, Constantine.

**BP**, 2014, Statistical Review of World Energy June 2014, 63rd edition.

**Canada V**, 2000, Confort thermique, Techniques de l'Ingénieur, traité Génie énergétique BE 9 085.

**Cantin R**, Moujalled B, HDR, Guarracino G, 2005, Complexité du confort thermique dans les bâtiments, 6<sup>ème</sup> congrès Européen de Science des Systèmes Paris 19-22 septembre 2005.

**Carla B**, 2004, A non-dimensional analysis of a ventilated double façade energy performance, Energy and Buildings, Vol: 36, pp. 35–40.

**Castleton H**, 2011, Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit, Energy and Buildings, Vol:42 , pp1582–1591.

**Chan A**, Ho D, Tam C, 2001, Design and build project success factors: multivariate analysis, Construction Engineering and Management, Vol: 127, pp 93–100.

**Chaouche M**, 2006, La micro-urbanisation et la ville-oasis ; une alternative à l'équilibre des zones arides pour une ville saharienne durable cas du Bas-Sahara, Thèse doctorat, Université Mentouri, Constantine.

**Chlela**, F. 2008. Développement d'une méthodologie de conception de bâtiments a basse consommation d'énergie, Thèse de doctorat, Université de La Rochelle, France.

**Chlela F**, Husaunndee A, Inard C, Kartachi Y., Riederer P, 2006, Numerical evaluation of earth to air heat exchangers and heat recovery ventilation systems. Proceedings of the 4th European Conference on Energy Performance & Indoor Climate in Buildings, Lyon, France, Vol: 3, pp 601 – 606.

**Dakkina A**, 2012, Programme National d'Efficacité Energétique dans le Bâtiment, Maroc.

**Dethier J**, 1981, Des architectures de terre ou l'avenir d'une tradition millénaire, catalogue de l'exposition organisée par le Centre de Création Industrielle CCI, Editions du Centre Georges Pompidou, 1981.

**DI H.F**, Wang D.N, 1999, Cooling effect of ivy on a wall, Thermal Engineering Department. Vol :12, no.3, Tsinghua University, Chine, pp 235-345.

- Djelloul A**, Draoui B, Moumami N, 2013, simulation du comportement énergetique des batiments Residentiels au sud Algerien, Courrier du Savoir – N°17, Décembre 2013, pp.113-119.
- Djemaa A.** 2009,. Modélisation Botton-up, un outil d'aide à la décision long terme pour les mesures politiques en matière d'énergie et d'environnement : le modèle TIMES appliqué aux industries grandes consommatrices d'énergie, Thèse doctorat, Ecole nationale supérieure des mines de paris. France.
- Dunnet N**, Kingsbur N, 2008, Planting Green roofs and Living Walls. Timber Press, Portland/London.
- El Hassar S.M.K**, Amirat M, Silhadi K,. Souici M,et Sakhraoui S, 2002, Réglementation Thermique Algérienne des Bâtiments – Contribution à la Définition de Nouveaux Coefficients Réglementaires, Revue Française de Génie Civil, Vol : 6, Paris, France, Août 2002.
- El-kourtbi M**, 1999, .Energie et Bâtiment - Etude Thermo physique des Matériaux Locaux : la Terre, La Recherche Appliquée au LPEE, Bilan 97/98.
- Ernst**, 2009, Etude pour la définition d'une démarche de développement des toitures végétalisées, Direction de l'environnement et de l'énergie Nice coté d'AZUR.
- Feist W**, Schnieders J, Dorer V,. Haas A,. 2005, Re-inventing air heating: Convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept, Energy and Buildings, Vol: 37 pp.1186-1203.
- Fernandez P**, Lavigne P, 2009, Concevoir des bâtiments bioclimatiques, fondements et méthodes, Edition Moniteur.
- Flory C**, Varet G, Virgone J, Covalet D, 2007, Comparison of the thermal performances of buried pipe system and night ventilation on residential buildings, Rapport de synthèse.
- Fouad A.O**, 2007, Morphologie urbaine et confort thermique dans les espaces publics: Etude comparative entre trois tissus urbains de la ville de Québec, Thèse doctorat, Université Laval Québec.
- Foura S**, 2007, Simulation des paramètres du confort thermique d'hiver enAlgérie,Thèse de doctorat, Université Mentouri, Constantine.
- Ghedamsi R**,2015 , Estimating the energy consumption in building sector in Algeria using bottom-up mode, Renewable Energy Congress (IREC), 2015 6th International, Sousse, Publisher: IEEE, DOI:10.1109/IREC.2015.7110942.
- Givoni B** ,1978.L'homme, L'architecture Et Le Climat Edition : Le Moniteur Paris
- Givoni B**,1969, Man, climate and architecture. 2<sup>nd</sup>ed, Van Nostrand Reinhold, New York
- Goulding J. R**, Lewis J. O, 1992, Energy in Architecture: The European Passive Solar Handbook - B.T. Batsford for the Commission of the European Communities, Directorate General XII for Science, Research and Development, London. ISBN: 0-7134-6918-8

- Goulding** J. R, Steemers T.C, Lewis J.O, 1992, Energy conscious design. Batsford for the commission of the European communities, London
- Granadeiro** V, Duarte J P, Correia J R, Lea V. M.S.L, 2013,. Building envelope shape design in early stages of the design process: Integrating architectural design systems and energy simulation. Automation in Construction, Vol : 32, pp. 196–209
- Guerdat** j, Schaffner M, Vuillaume J, 2007, Travail interdisciplinaire - L'isolation thermique des bâtiments, CPP – MPT A, (Février 2007).
- Guohui** G, 2006, Simulation of buoyancy-induced flow in open cavities for natural ventilation, Energy and Buildings, Vol : 38, pp. 410–420.
- Haj-Hussein** M, 2012, Investigation sur la qualité des ambiances hygrothermiques et Lumineuses des habitats palestiniens. La cour: contribution environnementale et socioculturelle, Université bordeaux 1, France.
- Harris** D.J, Helwig N, 2007, Solar chimney and building ventilation, Applied Energy , Vol : 84, pp. 135–146.
- Hatraf** N, Moumni N, Brima A, Moumi A, Youcef-Ali S, 2010, Etude théorique et expérimentale d'un échangeur air/sol enterrer destiné au rafraîchissement des locaux, Séminaire Internationale des énergies nouvelles et renouvelables, SIENR, Ghardaïa Octobre 2010.
- Hollmuller** P, 2002, Utilisation des échangeurs air-sol pour le chauffage et le rafraîchissement des bâtiments. Mesures in situ, modélisation analytique, simulation numérique et analyse systémique, Thèse de doctorat, université de Genève.
- IBGE**, Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement. 2007. Redéfinir la notion de confort thermique, Guide pratique pour la construction et la rénovation durable de petits bâtiments, Recommandation pratique CSS13, Fév. 2007.
- ISO EN 7730**, 1994. Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, International Organization for Standardization.
- Iturra** M, Emilio E, 2011, Impact de la configuration des bâtiments scolaires sur leur performance énergétique, thermique et visuelle, Mémoire Master, Université Laval, Quebec City.
- Jakhar** S, Misra R, Bansal V, Soni M.S, 2015, Thermal performance investigation of earth air tunnel heat exchanger coupled with a solar air heating duct for northwestern India, Energy and Buildings Vol :87 .pp.360–369.
- Kanellopoulou** K, 2008, Cooling performance of green roofs, PLEA 2008, 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22nd to 24th October 2008.
- Karasu** A, Steffan C, 2010, Building energy performance simulations of the residential houses in a mediterranean climate: A case study for Bodrum, Turkey, Third German-Austrian IBPSA Conference Vienna University of Technology.

- Kim E**, 2014, Les transitions énergétiques urbaines du XIXe au XXIe siècle : de la biomasse aux combustibles fossiles et fissiles à Paris (France), Thèse doctorat, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, France.
- Koffi J**, 2009, Analyse multicritère des stratégies de ventilation en maisons individuelles, Thèse de doctorat, Université de La Rochelle, France.
- Kontoleon K**, Eumorfopoulou E, 2010, The effect of orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone, *Building and Environment*, Vol :45, pp. 1287-1303.
- Krüger E**, Pearlmutter D, Rasia F, 2010, Evaluating the impact of canyon geometry and orientation on cooling loads in a high-mass building in a hot dry environment, *Applied Energy*, Vol: 87, pp.2068–2078.
- Kumar R.**, Kaushik S.C, Garg S.N, 2006, Heating and cooling potential of an earth-to air heat exchanger using artificial neural network, *Renewable Energy*, Vol: 31, pp.1139-1155, 2006.
- Kwang H**, Strand R.K, 2008, the cooling and heating potential of an earth tube system in buildings. *Energy and Buildings*;40:486–94.
- Lam J. C**, Tsang, C.L, Danny H.W., Cheung S.O, 2005, Residential building envelope heat gain and cooling energy requirements, *Energy*, Vol: 30, pp. 933–951.
- Lee K.H**, Stand R.K, 2009, Enhancement of Natural Ventilation in Buildings Using a Thermal Chimney, *Energy and Buildings*, Vol: 41, pp. 615-621.
- LE NOST G**, MARQUIS-FAVRE C., VIOLLON S, 2006, Impact environnemental des sources de bruit industriel : une méthode de filtrage pour créer des stimuli sonores réalistes Congrès Français d'Acoustique, Tours, France,
- Liébard A**, De Herde A, 2005, *Traité d'Architecture et d'Urbanisme Bioclimatiques*, livre, Le Moniteur Editions, Paris.
- Louai, N**, 2009, Evaluation Energétique des déchets solides en Algérie, une solution climatique et un nouveau vecteur énergétique, Mémoire de magister, Université El-Hadj Lakhdar, Batna.
- Lucie T**, 2009, Puits canadiens/provençaux et qualité de l'air intérieur : Analyse des dégradations potentielles, Mémoire de l'École des Hautes Études en Santé Publique Rome, Italie.
- Macias M**, Mateo A, Schuler M, Mitre E.M, 2006, Application of night cooling concept to social housing design in dry hot climate, *Energy and Buildings*, Vol : 38, pp. 1104–1110..
- Mandallena C**, 2006, Elaboration et application d'une méthode d'évaluation et d'amélioration de la qualité environnementale de bâtiments tertiaires en exploitation, Thèse de doctorat, Université Bordeaux 1, France.
- Markus T**, Morris E.N, 1980, *Building, Climate and energy*, Pitman publishing, Londres,



Grande- Bretagne. ISBN: 0 273 00266.

**Martinet C**, Meyer J, 1999, Travail à la chaleur et confort thermique, NS T184 (décembre 1999).

**Mathur J**, Anupma, Mathur S, 2006, Experimental investigation on four different types of solar chimneys Advances in Energy Research AER, pp. 151-156.

**Mathur J.**, Anupma, Mathur S, 2006, Experimental investigation on four different types of solar chimneys, Advances in Energy Research AER, pp. 151-156.

**Mathur J.**, Mathur S, Anupma, 2006, Summer-performance of inclined roof solar chimney for natural ventilation, Energy and Buildings, Vol: 38, pp.1156–1163.

**Mazar M**, 2012, Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public/ Cas du département d'Architecture de Tamda (Tizi ousou), mémoire de magistère, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou.

**Mazouz S**, 2010, Confort thermique, cours , Département d'architecture de l'université de biskra.

**Mazouz S**, 2004; Eléments de conception architecturale, Alger: Edition O.P.U.

**Medjelekh D**, 2006, Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment cas de l'habitation de l'époque coloniale à Guelma, mémoire de magister : Architecture Bioclimatique, l'université Mentouri de Constantine.

**MEM**, Ministère de l'énergie et des mines. 1980 ; MEM, 2014.

**Menouche D**, 2008, Valorisation des produits agro-alimentaires et des plantes médicinales par les procédés de séchage solaire, Mémoire de magister, Université Kasdi Merbah, Ouargla.

**Merzeg A**, 2010, La réhabilitation thermique de l'habitat contemporain en Algérie, mémoire de magistère, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou.

**Mihalakakou G**, Santamouris M, Asimakopoulos D, Tselepidaki I, 1995, Parametric prediction of the buried pipes cooling potential for passive cooling applications. Solar Energy; Vol: 55, pp.163–73.

**Miyazaki T**, Akisawa A, Kashiwagi T, 2006, The effects of solar chimneys on thermal load mitigation of office buildings under the Japanese climate, Renewable Energy, Vol : 31, pp. 987–1010.

**Mohammed Hussein Abed H**, 2012, Effect of Building Form on the Thermal Performance of Residential Complexes in the Mediterranean Climate of the Gaza Strip , master thesis, Islamic University of Gaza, Palestine

**Mohsen Hanafy R**, 2012, Energy Efficient Management and Optimization Strategies in Office Buildings By implementing Simulation-based optimization control, master thesis , University of Kassel and Cairo University.

- Moujalled B**, 2007, Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés, thèse doctorat, Université de Lyon, France.
- Moummi N**, Benfatah H, HatrafN, MoummiA, Youcef Ali S, 2010, Le rafraîchissement par la géothermie : étude théorique et expérimentale dans le site de Biskra, Revue des Energies Renouvelables Vol : 13 N°3.
- Nayak J.K.**, J. Prajapati A, 2006;. Handbook On Energy Conscious Buildings - Mai 2006, Indian Institute of Technology, Bombay and Solar Energy Centre.
- Niachou A**, Papakonstantinou K, SantamourisM, Tsangrassoulis A, Mihalakakou G, 2001, Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance, Energy and Buildings, Vol: 33, pp. 719-729.
- Nikpour M**, Kandar M. Z, Ghomeshi M, 2011, Investigating the effectiveness of self-shading strategy on overall thermal transfer value and window size in high rise buildings, Engineering and Technology. Vol: 50, pp.161-166.
- Olgyay V**, Olgyay A, 1963, Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalis, Livre, Princeton University Press.
- Osmane N**, 2012, Tunisie : une politique nationale d'efficacité énergétique l'Agence Nationale pour la Maîtrise d'Energie (ANME) en Tunisie.
- Ottelé M**, Perini K, Fraaij A, systems, Energy and buildings, Vol: 43, pp.3419-3429.
- Ouled-Henia A**, 2003, Choix climatiques et construction zones arides et semi arides Maison à Bou-Saada, Thèse doctorat, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, France.
- Pahedja I**, 2008, Maîtrise d'énergie, production d'électricité et développement socio-économique durable à Mayotte, problématique appliquée aux territoires insulaires de petites dimensions, Thèse doctorat, Université des Sciences Humaines de Limoges, France.
- Patankar S**, 1980, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere, Washington D.C
- Paul G**, Ackerknecht D, 1993, Climate responsive Building, Appropriate Building Construction in Tropical and Subtropical Regions, SKAT, ISBN: 3-908001-39-0.
- Percebois J**, 2012, Rapport - Énergies 2050, Centre d'analyse stratégique, France.
- Raman P**, Sanjay M, Kishore N, 2000, A passive solar system for thermal comfort conditioning Of buildings in composite climates, Solar Energy, Vol: 4, pp. 319–329.
- Reuben F**, 2011, Green walls and green roofs in the south African context: Potentials for job creation and Co2 Emission reduction. USA.
- Rohit M**, 2013, Transient analysis based determination of derating factor for earth air tunnel heat exchanger in summer, Energy and Buildings , Vol : 58 pp. 103–110.
- Romuald J**, 2005, Le puits canadien ou puits provençal, Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement de Lyon (CETE), (novembre 2005).

- Rosenlund H**, 2000, Climatic Design of Buildings using Passive Techniques, Building Issues - 2000, Vol :10 N°1.
- Saadi S**, 2007, Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur, Mémoire de magister, Université Mentouri de Constantine.
- Salomon T**, 2000, Architecture solaire et conception climatique des bâtiments, Architecture et énergies renouvelables l'Agence Méditerranéenne de l'Environnement (AME).
- Shady A**, 2006, The Role of Landscape Design in Improving the Microclimate in Traditional Courtyard-Buildings in Hot Arid Climates. PLEA. 23<sup>ème</sup> conférence, Genève, 6-8 Septembre.
- Shashua-Bar L**, Tzamir Y, Hoffman M, 2004, Thermal effects of building geometry and spacing on the urban canopy layer microclimate in a hot-humid climate in summer, International Journal of Climatology, Vol:24, pp. 1729–1742.
- Stater, K**, 1985, Human Comfort. Springfield: Charles C Thomas.
- Supic, P**, 2000, L'aspect bioclimatique d l'habitat vernaculaire, Arch., Vol : 10, no 1, pp. 27-47.
- Thainswemong C**, Anil Kumar M, 2013, Minimizing changing climate impact on buildings using easily and economically feasible earth to air heat exchanger technique Mitig, Adapt Strateg Glob Change DOI 10.1007/s11027-013-9453-3.
- Thiers, S**, 2008, Bilans énergétiques et environnementaux de bâtiments à énergie positive, Thèse de doctorat : Energétique, Ecole nationale supérieure des mines de paris.
- Thlierel F**, 1989, Modélisation du comportement thermique de l'homme et de son habitat. Une approche de l'étude du confort, Université Paul Sabatier, Toulouse, France.
- Toufik B**, 2006, Effets thermo-radiatifs et caractérisation microclimatique des cours intérieures dans les édifices publics, Mémoire de magister, université Mentouri Constantine, Algérie.
- Vaz J**, 2011, Experimental and numerical analysis of an earth–air heat exchanger, Energy and Buildings, Vol :43 pp. 2476–2482.
- Viaro A**, Ziegler A, 1983, Habitat traditionnel dans le monde : Eléments pour une approche, UNESCO.
- Viaro A. M**, Ziegler A, 1983, Habitat traditionnel dans le monde : Eléments pour une approche, UNESCO.
- Vidal T**, Bernstein D, Champetier J, 1997, Anatomie de l'enveloppe des batiments. construction et enveloppes lourdes, environnement, détails d'architecture, Livre, Le Moniteur Editions.
- Xamán J**, Hernández-Pérez, I, Arce, J, Álvarez-García G. d. S., Ramirez L., 2014, Numerical study of earth-to-air heat exchanger: The effect of thermal insulation, Energy and Buildings Vol :85, pp. 356–361.

**Yi Y**, Malkawi A, 2009, Optimizing building form for energy performance based on hierarchical geometry relation, *Automation in Construction*, , pp 825–833.

**Zeroual D**, 2006, Impact des gains de chaleur sur la morphologie des bâtiments. Cas des climats chauds et arides, Mémoire de magistère, Université Mentouri, Constantine.

**Zoltan A**, Yamanaka T, Kotan H, 2004, Mathematical model and experimental study of air flow in solar chimneys, *Natural ventilation 5* in Osaka University, Japan.

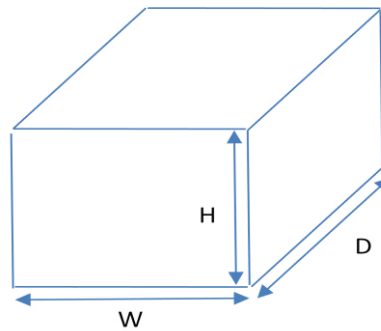
# **Annexes**

## Les dimensions des formes

### .1. La forme rectangulaire "modèle 1"

Le premier modèle de configuration possible est de forme rectangulaire.

La largeur  $W$  est orientée directement au sud pour ne pas confondre les dimensions et les façades.



**Figure 1 :** Orientation et dimensions de la forme rectangulaire.

On a fixé les valeurs de  $W$  puis on a calculé celles de  $D$ .

$$\text{Surface (S)} = W \times D \quad (1)$$

Le coefficient de forme ou le facteur de forme est calculé par la relation :

$$C_f = \frac{2H \cdot (W+D) + S}{V} \quad (2)$$

Le pas de la largeur  $W$  n'est pas constant car les valeurs prises sont choisies selon la possibilité de pouvoir être mises dans le plan architectural, par exemple :

$$W = 14 \text{ m}, \quad D = 8.57 \text{ m}, \quad C_f = 0.712 \text{ m}^{-1}$$

$$W = 14.5 \text{ m}, \quad D = 8.28 \text{ m}, \quad C_f = 0.709 \text{ m}^{-1}$$

La valeur de  $C_f$  (0,712) est très proche à la précédente (0,709) est un peu loin de l'autre ( $W=13.5\text{m} \Rightarrow C_f= 0,706 \text{ m}^{-1}$ ) et loin de la suivante ( $W= 15 \text{ m}, D=8\text{m} ; C_f=0.716 \text{ m}^{-1}$ ), alors on a essayé de choisir – parmi des centaines – les dimensions les plus convenables avec des valeurs différentes et bien distinctes de  $C_f$ .

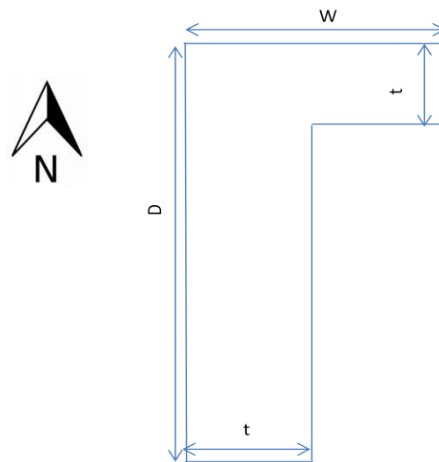
**Tableau 1** : Dimensions de la forme rectangulaire.

No.	$C_f$ ( $m^{-1}$ )	W (m)	D (m)
1	2.35	1.00	120.00
2	1.69	1.50	80.00
3	1.37	2.00	60.00
4	1.18	2.50	48.00
5	1.050	3.00	40.00
6	1.012	3.20	37.50
7	0.929	3.75	32.00
8	0.900	4.00	30.00
9	0.830	4.80	25.00
10	0.817	5.00	24.00
11	0.767	6.00	20.00
12	0.758	6.25	19.20
13	0.725	7.50	16.00
14	0.717	8.00	15.00
15	0.710	8.50	14.12
16	0.706	9.00	13.33
17	0.702	9.50	12.63
18	0.700	10.00	12.00
19	0.698	11.00	10.91

Les valeurs de la largeur W sont prises comme références pour toutes les autres formes, et par conséquent, les valeurs du facteur de forme  $C_f$  seront aussi inchangeables, qui nous donne une opportunité de plus de mieux comparer et analyser les différentes configurations.

## **.2. La forme "L", " modèle 2"**

L'orientation de la forme est indiquée dans la figure (2).

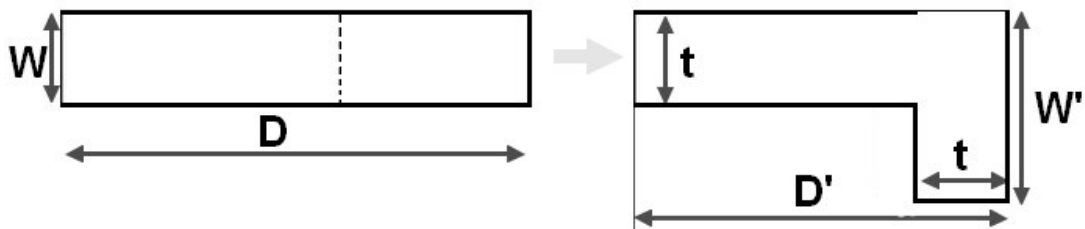


**Figure 2 :** Orientation et dimensions de la forme "L".

La largeur  $W$  et la profondeur  $D$  sont de même orientation que la forme rectangulaire. Une nouvelle dimension est utilisée pour indiquer l'épaisseur des coudes qui composent la forme T nommée «  $t$  ».

C'est «  $t$  » qui va prendre les anciennes valeurs de «  $W$  » (c'est la plus petite dimension).

$t$  étant fixe, l'astuce est de transformer la forme rectangulaire (droite) en forme « L », c'est « couder la forme » telle qu'elle est pour garder la superficie et surtout la même dimension de  $W$  dans le rectangle pour  $t$ .



**Figure 3 :** Schéma de transfert d'un rectangle à un « L ».

La figure (3) montre qu'il suffit de couder et renommer les dimensions. On va utiliser les signes  $W'$ ,  $D'$  juste pour expliquer puis on reprendra les même signes. La largeur  $W$  devient  $t$ , la profondeur  $D$  reste une profondeur  $D'$ , mais la nouvelle largeur peut être calculée si on connaît notre nouvelle profondeur  $D'$ .

On a :

$$D = (D' - t) + W' \Rightarrow W' = D - D' + t$$

La forme L se décompose en trois rectangles ayant des surfaces  $S_1$ ,  $S_2$  et  $S_3$  qui sont calculées comme suit :



$$S_1 = t^2, S_2 = t \times (W' - t) \text{ et } S_3 = t \times (D' - t)$$

$$\text{Alors, } S = S_1 + S_2 + S_3 = t^2 + t \times (W' - t) + t \times (D' - t) \Rightarrow S = t (W' + D' - t)$$

Nous donnons des valeurs à W' et nous calculons D' comme suit :

$$\Rightarrow D' = \frac{S}{t} - W' + t$$

Selon le choix des valeurs de t, on ne devrait prendre qu'un certain nombre de configurations, sinon ; on risque de perdre la forme géométrique désignée.

Pour confirmer ce résultat et être sûr et objectif, on a appliqué deux formules mathématiques de vérification. Ces formules servent à indiquer par écrit les configurations possibles et les configurations ayant au moins une dimension très petite et ne convient pas avec la forme géométrique (qui en fait une autre apparence que la forme voulue).

Les douze premières configurations étaient justes. Pour la treizième on a eu un avertissement que D est petite mais la forme est juste, toutes les autres configurations en augmentant la valeur de t sont rejetées. On a décidé de prendre la treizième parce qu'elle va nous donner une valeur de plus dans la comparaison finale des résultats.

Le facteur de forme est calculé par la relation :

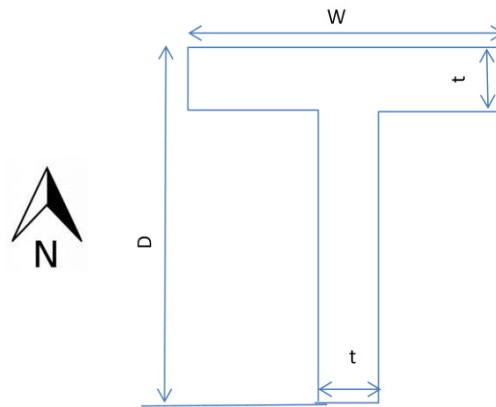
$$C_f = \frac{2H \cdot (W + D) + S}{V}$$

**Tableau.3 :** Les dimensions de la forme " L ".

No.	t (m)	W (m)	D (m)	C <sub>f</sub> (m <sup>-1</sup> )
1	1.00	81.00	40.00	2.350
2	1.50	50.00	31.50	1.692
3	2.00	50.00	12.00	1.367
4	2.50	32.00	18.50	1.175
5	3.00	30.00	13.00	1.050
6	3.20	25.00	15.70	1.012
7	3.75	22.00	13.75	0.929
8	4.00	20.00	14.00	0.900
9	4.80	15.00	14.80	0.830
10	5.00	16.00	13.00	0.817
11	6.00	13.00	13.00	0.767
12	6.25	12.75	12.70	0.758
13	7.50	13.00	10.50	0.725

### 3. La forme "T" "Modèle 3"

L'échantillon est orienté comme l'indique la figure (3).



**Figure 4 :** Orientation et Dimensions de la forme " T ".

Pour l'obtention de cette forme, on a mis en évidence le critère visuel (l'apparence de la forme) et on a donné la priorité aux valeurs les plus grandes pour chaque configuration, puis on a appliqué une formule de vérification mathématique assurant que les ailes du T restent claires.

Par suite de plusieurs essais, on a remarqué que les meilleures configurations étaient celles qui donnent un aspect d'un carré qui entoure la forme.

De la même façon que pour la forme L, on a fixé W et on a calculé D par la formule suivante :

$$D = \frac{S}{t} - W + t$$

Les trois configurations suivantes sont prises en compte à titre comparatif en attendant le résultat final de la simulation pour décider si on peut les garder ou

non. Le facteur de forme est calculé par la relation :

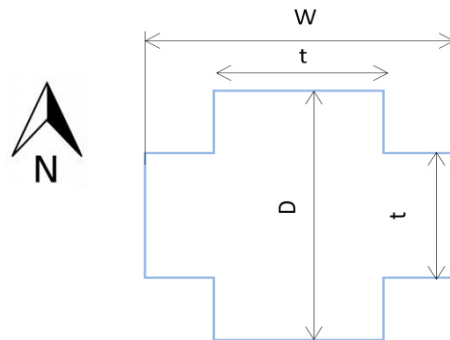
$$C_f = \frac{2H \cdot (W + D) + S}{V}$$

**Tableau.4 :** Dimensions de la forme " T ".

No	t (m)	W (m)	D (m)	C <sub>f</sub> (m <sup>-1</sup> )
1	1.00	61.00	60.00	2.350
2	1.50	41.00	40.50	1.692
3	2.00	31.00	31.00	1.367
4	2.50	26.00	24.50	1.175
5	3.00	21.00	22.00	1.050
6	3.20	20.20	20.50	1.012
7	3.75	18.75	17.00	0.929
8	4.00	17.00	17.00	0.900
9	4.80	15.00	14.80	0.830
10	5.00	16.00	13.00	0.817
11	6.00	12.00	14.00	0.767
12	6.25	12.65	12.80	0.758
13	7.50	11.50	12.00	0.725

**.4. La forme en PLUS " + " ; " modèle 4 "**

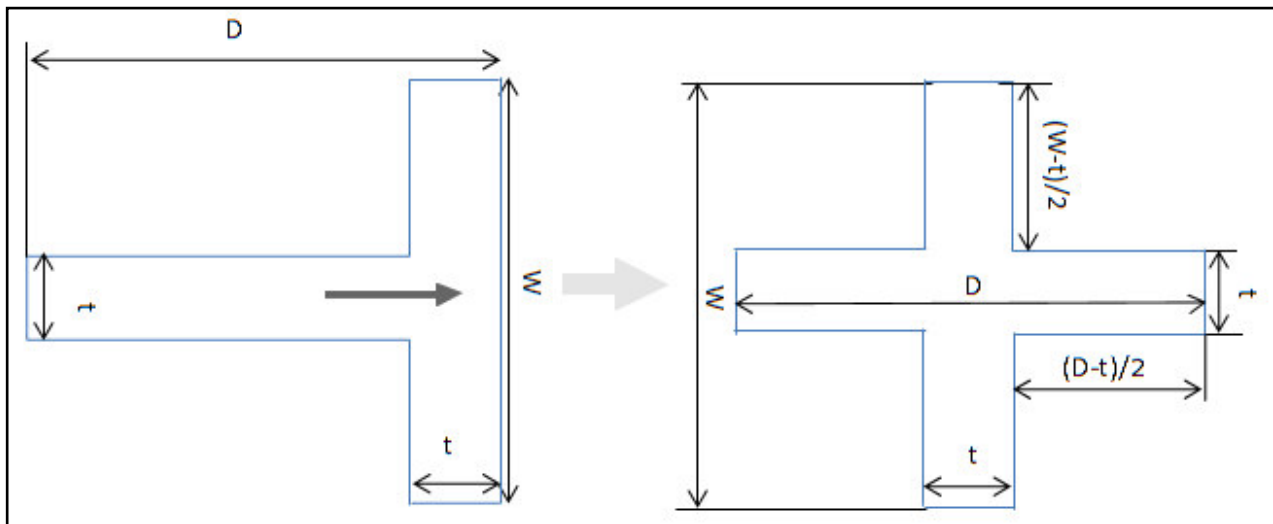
L'échantillon est orienté comme l'indique la figure 5.



**Figure 5 :** Orientation et dimensions de la forme " PLUS ".

On a exploité les dimensions de la forme « T » pour obtenir celles de la forme « + ».

Pour la largeur et la profondeur des bâtiments, aucune valeur n'est changée (la figure.6.15).



**Figure .6.**Schéma du passage d'un « T » à un « + » avec les mêmes dimensions.

Pour être sûre, on doit utiliser des relations mathématiques qui nous rassurent si on est sur la bonne voie. On a fixé les valeurs de W et on a calculé D, après plusieurs opérations sur les équations on a obtenu la même relation que précédemment :

$$D = \frac{S}{t} - W + t$$

Finalement et comme attendu, on a eu les mêmes résultats. De même, pour la vérification, la même formule était utilisée et les mêmes configurations ont été prises en compte avec les mêmes réservations.

Le facteur de forme est calculé par la même relation que précédemment. Les valeurs des dimensions et du facteur de forme sont présentés dans le tableau suivant :

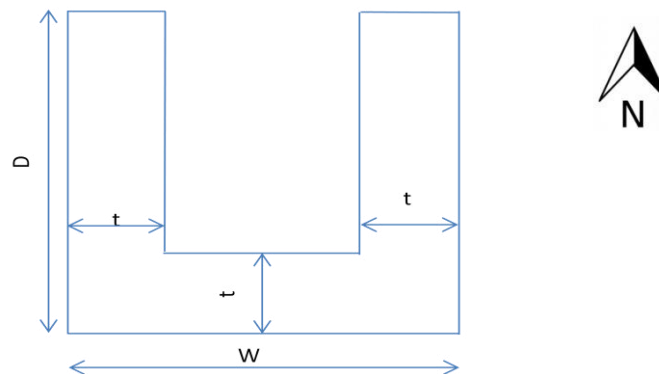
**Tableau.5** : Dimensions de la forme " PLUS ".

No.	t (m)	W (m)	D (m)	C <sub>f</sub> (m <sup>-1</sup> )
1	1.00	61.00	60.00	2.350
2	1.50	41.00	40.50	1.692
3	2.00	31.00	31.00	1.367
4	2.50	26.00	24.50	1.175
5	3.00	21.00	22.00	1.050
6	3.20	20.20	20.50	1.012
7	3.75	18.75	17.00	0.929
8	4.00	17.00	17.00	0.900
9	4.80	15.00	14.80	0.830
10	5.00	16.00	13.00	0.817
11	6.00	12.00	14.00	0.767
12	6.25	12.65	12.80	0.758
13	7.50	11.50	12.00	0.725

### .5. La forme " U " ; "modèle 5"

L'échantillon est orienté comme l'indique la figure 7. Pour trouver les configurations possibles pour la forme « U », on a commencé le calcul à partir des tableaux Excel utilisé pour le calcul de la forme « + ».

On a calculé les tronçons  $(D-t)/2$  et  $(W-t)/2$ , puis on a décidé de donner à la partie orientée vers le sud qui est W ; des petites dimensions par rapport aux ailles de la forme (D), cela pour réduire la surface exposée directement au soleil par le sud.

**Figure .7** : Orientation et Dimensions de la forme " U ".

Au début, on a donné les valeurs de «  $(D-t)/2$  » de la forme « + » à  $(W-2t)$ , puis on a calculé D en utilisant la formule suivante :

$$D = \frac{\frac{W-t}{2} + (D-t) + t}{2}$$

Où :  $W$  et  $D$  désignent la largeur et profondeur de la forme Plus « + » respectivement.

Cette condition empêche qu'on ait une forme semblable à un T renversé.

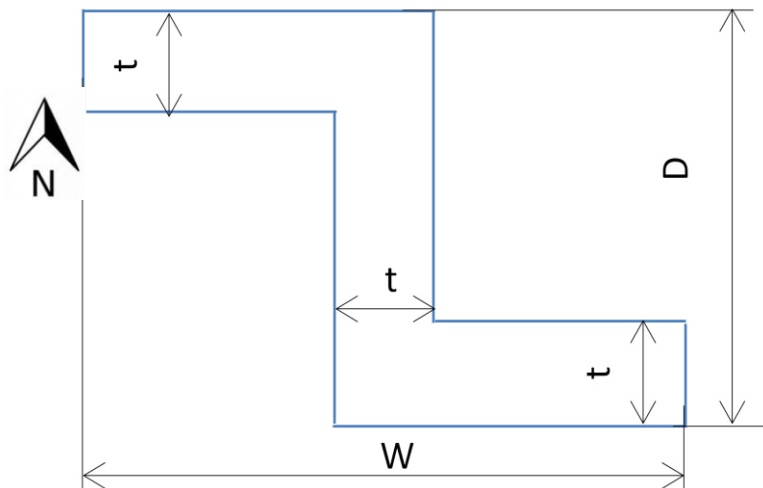
Les valeurs des dimensions et du facteur de forme sont mises dans le tableau. 6.

**Tableau.6** : Dimensions de la forme " U ".

No.	t (m)	W (m)	D (m)	$C_f$ ( $m^{-1}$ )
1	1.00	32.00	45.00	2.350
2	1.50	22.75	30.13	1.692
3	2.00	18.50	22.75	1.367
4	2.50	16.75	18.13	1.175
5	3.00	15.00	15.50	1.050
6	3.20	14.90	14.50	1.012
7	3.75	15.00	12.25	0.929
8	4.00	14.50	11.75	0.900
9	4.80	14.70	9.95	0.830
10	5.00	15.50	9.25	0.817
11	6.00	15.00	8.50	0.767
12	6.25	15.70	8.00	0.758
13	7.50	17.00	7.00	0.725

**.6. La forme "Z" à angles droits "modèle 6"**

Le dernier échantillon a une forme d'un Zed à angles droits, la figure 8 montre l'orientation et la forme.



**Figure .8** : Orientation et Dimensions de la forme " Z ".

## ANNEXE 1

---

On a modifié le U pour obtenir le Zed sans changer beaucoup de valeurs. On l'a tourné 90° de façon que la largeur de la forme U devient une profondeur et la largeur du Zed est calculée comme suit :

$$W = 2D - t$$

On a calculé le facteur de forme avec la même formule utilisée pour la forme U.

Aucune vérification n'est appliquée car les manipulations des dimensions n'étaient pas de grande complexité.

**Tableau.7** : Dimensions de la forme " Z ".

No.	t (m)	W (m)	D (m)	C <sub>f</sub> (m <sup>-1</sup> )
1	1.00	89.00	32.00	2.350
2	1.50	58.75	22.75	1.692
3	2.00	43.50	18.50	1.367
4	2.50	33.75	16.75	1.175
5	3.00	28.00	15.00	1.050
6	3.20	25.80	14.90	1.012
7	3.75	20.75	15.00	0.929
8	4.00	19.50	14.50	0.900
9	4.80	15.10	14.70	0.830
10	5.00	13.50	15.50	0.817
11	6.00	11.00	15.00	0.767
12	6.25	9.75	15.70	0.758
13	7.50	6.50	17.00	0.725

### Exemple de calcul du coût de construction

Tableau 1 : Estimation du coût de construction pour la forme rectangulaire.

Nombres de poutre				Coût détaillé									Volume de béton	Coût total en DZD	Coût en Dollars (\$)
				Murs Br × 2	revêtement		peinture	Plafond	Béton						
Cf	sur W	sur D	total	Murs 2400/m <sup>2</sup>	Extérieur 400/m <sup>2</sup>	intérieur 300/m <sup>2</sup>	Venyle + enduit 350/m <sup>2</sup>	plafond 400/m <sup>2</sup>	Semelle 28000/m <sup>3</sup>	Plateforme 1200/m <sup>2</sup>	Dalle 24000/m <sup>3</sup>	Carrelage 1200/m <sup>2</sup>			
2.350	2	24	48	1742400	290400	217800	254100	48000	10980480	144000	192000	144000	392.16	14013180	186842.4
1.692	2	16	32	1173600	195600	146700	171150	48000	5181120	144000	192000	144000	185.04	7396170	98615.6
1.367	2	12	24	892800	148800	111600	130200	48000	3091200	144000	192000	144000	110.4	4902600	65368
1.175	2	10	20	727200	121200	90900	106050	48000	2170560	144000	192000	144000	77.52	3743910	49918.8
1.050	2	8	16	619200	103200	77400	90300	48000	1545600	144000	192000	144000	55.2	2963700	39516

## **Résumé:**

Dans notre étude, une méthodologie a été développée pour mener des études de conception pour les bâtiments à faible consommation d'énergie. Le principe de la méthodologie est de développer à l'aide d'outils de simulation numérique et en se basant sur l'expérimentation, des modèles pour l'évaluation des performances énergétiques et du confort thermique des bâtiments. Le travail se concentre sur l'identification des archétypes d'habitation les plus performantes dans les climats chauds et arides, ce qui permet de déterminer leurs propriétés qui influent directement les performances thermiques. Nous proposons une méthodologie d'intégration des solutions bioclimatiques afin d'améliorer leur confort et leurs économies d'énergie dans ses archétypes d'habitation. On a présenté des techniques permettant la ventilation et le rafraîchissement naturel pour les régions à climat chaud. D'abord, Nous avons étudié le comportement de la cheminée solaire, on a réalisé un dispositif expérimental suivi d'une simulation utilisant le code Fluent pour une cheminée solaire de différentes géométries et deux inclinaisons. Une application est exécutée sur une pièce de dimension (1m x 1m x 1m) équipée d'une cheminée solaire inclinée de 45° par rapport à l'horizontal intégrée sur la partie supérieure de la pièce, afin de prédire le taux de ventilation. Ensuite, Nous avons évalué la performance d'un système échangeur air-sol propre à des zones à climat chaud. Pour réaliser notre travail on a procédé à une simulation numérique d'un écoulement turbulent dans l'échangeur air-sol, on utilise le logiciel "FLUENT" pour le calcul numérique. Une validation du modèle est effectuée par la comparaison entre nos résultats de simulation et les essais expérimentaux. On a introduit les données climatiques réelles de la région d'Ouargla à travers la mesure de la température ambiante et la température du sous sol effectuées dans un jour ensoleillé : le 26/05/2011 à Sidi Khouiled. Ensuite une étude d'optimisation a été extraite de l'analyse de l'influence des paramètres du dimensionnement sur la performance de l'échangeur. Nous sommes également intéressés à étudier la pertinence de l'effet de la végétation comme dispositif de rafraîchissement et son impact sur le confort intérieur des bâtiments. On présente une étude expérimentale comparative pour tester l'effet de la végétation sur différentes cellules. Une méthode d'évaluation de la consommation énergétique en fonction de l'enveloppe du bâtiment est testée. L'outil logiciel "TRNSYS 16" a été utilisé comme moyen d'évaluation. Différents formes de bâtiment ont été considérées. La simulation nous a permis d'estimer les besoins énergétiques de climatisation pour chaque facteur forme. Dans la dernière section, nous avons développé une méthode de comparaison entre les solutions bioclimatiques intégrées pour deux archétypes d'habitation sélectionnés. On développe une méthodologie originale pour la simulation et la prédiction de la consommation d'énergie liée à la climatisation. Une étude technico-économique est présentée pour chaque cas. Elle permet de déterminer l'archétype le moins énergivore et la solution bioclimatique la plus pertinente pour économiser l'énergie dans les bâtiments en région aride.

## **Abstract**

In our study, a methodology was developed to conduct design studies for low-energy buildings. The principle of the methodology is to develop using numerical simulation tools and based on experimentation, models for the evaluation of energy performance and thermal comfort of buildings. The work focuses on identifying the most successful home archetypes in hot and arid climates, which can be used to determine their properties that directly affect thermal performance. We propose a methodology for integrating bioclimatic solutions to improve their comfort and energy savings in their archetypes of housing. Techniques for ventilation and natural cooling for warm climates were presented. First, we studied the behavior of the solar chimney; we realized an experimental device followed by a simulation using the "Fluent" code for a solar chimney of different geometries and two inclinations. An application is performed on a dimension piece (1m x 1m x 1m) equipped with a solar chimney inclined 45 ° with respect to the horizontal integrated on the upper part of the room, in order to predict the rate of ventilation. Next, we evaluated the performance of an air-ground heat exchanger system specific to hot climate zones. To carry out our work, a numerical simulation of a turbulent flow in the air-ground heat exchanger has been carried out, using the FLUENT software for numerical computation. Validation of the model is performed by comparing our simulation results with the experimental tests. The actual climatic



data of the region of Ouargla was introduced through the measurement of the ambient temperature and the temperature of the subsoil carried out in a sunny day: the 26/05/2011 in Sidi Khouiled. Then an optimization study was extracted from the analysis of the influence of the parameters of the dimensioning on the performance of the exchanger. We are also interested in studying the relevance of the effect of vegetation as a cooling device and its impact on the interior comfort of buildings. A comparative experimental study is presented to test the effect of vegetation on different cells. A method of assessing energy consumption according to the building envelope is tested. The "TRNSYS 16" software tool was used as a means of evaluation. Different forms of building were considered. In the last section, we have developed a method of comparison between integrated bioclimatic solutions for two selected residential archetypes. An original methodology is developed for the simulation and prediction of energy consumption related to air conditioning. A technical-economic study is presented for each case. It determines the most energy-efficient archetype and the most relevant bioclimatic solution for saving energy in arid buildings.

### الخلاصة :

في دراستنا، تم تطوير منهجية لإجراء دراسات لتصميم مباني منخفضة الطاقة. مبدأ المنهجية هو تطوير نماذج باستخدام أدوات المحاكاة العددية واستنادا إلى دراسة تجريبية لتقييم أداء الطاقة والراحة الحرارية للمباني. ويركز العمل على تحديد أنجح النماذج للمباني في المناخات الحارة والجافة، والتي يمكن استخدامها لتحديد خصائصها التي تؤثر بشكل مباشر على الأداء الحراري. ونحن نقترح منهجية تعتمد على دمج الحلول المناخية البيولوجية في المباني لتحسين الراحة الحرارية وتوفير الطاقة. تم تقديم توثيقٍ تسمح بتحسين التهوية الطبيعية و التبريد في المناطق ذات المناخ الحار. أولاً، قمنا بدراسة سلوك المدخنة الشمسية، و من أجل تحدي الخصائص المتعلقة بهذا النظام المقترح تم القيام بدراسة تجريبية وأخرى عددية باستعمال برنامج "Fluent" على المدخنة الشمسية مع التعريف بأبعادها و زاوية الميل كما قمنا بتطبيق هذا النموذج على غرفة مكعبة الشكل ذات الأبعاد التالية (1 م 1x م. 1x م.). الجزء العلوي من الغرفة مجهز بمدخنة شمسية بزاوية ميل 45 درجة عن المستوى الأفق. لتحسين التهوية، والوصول إلى مستوى من الراحة الحراري مع التقليل في استهلاك الطاقة. بعد ذلك، قمنا بتقييم أداء نظام مبادل حراري جوي - أرضي خاص بالمناخات الحارة. لتحقيق العمل لدينا وسائل محاكاة العددية للتدفق المضطرب في المبادلات الحرارية إلى جانب الأرض. يتم التحقق من صحة النموذج من خلال المقارنة بين نتائج المحاكاة المحصل عليها والنتائج التجريبية. تم تحديد البيانات المناخية لمنطقة ورقلة من خلال قياس درجة حرارة الجو ودرجة حرارة التربة وتم هذا في يوم مشمس: في 26/05/2011 بمنطقة سيدي خويلد. بعدها استخراج دراسة التحسين من تحليل تأثير معاملات القياس على أداء المبادل. ونحن مهتمون أيضا بدراسة أهمية تأثير الغطاء النباتي كجهاز تبريد وتأثيره على الراحة الداخلية للمباني. تم تقديم دراسة تجريبية مقارنة لاختبار تأثير الغطاء النباتي على الخلايا المختلفة.

تقييم استهلاك الطاقة في المبنى تم وفقا لمغلف المبنى. واستخدم برنامج Trnsys 16 كوسيلة لحساب المتغيرات. وتم النظر في أشكال مختلفة للمبنى. سمحت لنا المحاكاة بتقدير متطلبات طاقة التبريد لكل أشكال المبنى. في القسم الأخير، قمنا بتطوير طريقة للمقارنة بين الحلول المناخية المتكاملة لنموذجين سكنيين محددتين. وقد وضعت منهجية محكمة لتوقع استهلاك الطاقة المتعلقة بالتبريد. قدمت دراسة فنية واقتصادية لكل حالة، حدد من خلالها النموذج الأكثر كفاءة في استخدام الطاقة والحل الحيوي الحيوي الأكثر ملائمة لتوفير الطاقة في المباني السكنية في المناطق ذات المناخ الجاف.