

Visa du chef de département des  
Sciences et de la Technologie  
Signature:.....  
Date :.....

# Étude et dimensionnement du confort thermique dans une maison monobloc dans la région de Tissemsilt

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de master académique en  
«*Installations énergétiques et turbomachines*»

Encadreur: OUDRANE Abdellatif  
MCB  
Signature: .....  
Date: .....

Réalisé par : BACHA Bouhanni  
Signature: .....  
Date: .....

## Membres du jury

ZEBBAR M., MAA (*Président*)  
BENLEKKAM M. MAA (*Examineur*)  
OUDRANE A., MCB (*Encadreur*)

## *Remerciements*

**J**e tiens à témoigner de mon respect et ma profonde gratitude aux **Dr. OUDRANE A.** qui a été toujours disponible pour me faire profiter de leur expérience et leur compétence, pour mener à bien l'élaboration de ce travail.

Je désire exprimer également ma reconnaissance au président du jury Monsieur **ZEBBAR M.** et à Monsieur **BENLEKKAM M.** d'avoir bien accepté l'examinations de ce travail.

J'adresse aussi mon affection et ma reconnaissance, à tous mes collègues, mes frères et mes sœurs, et une marque d'appréciation très spéciale s'adresse à mes parents qui m'ont soutenu moralement et partager en silence mon épreuve.

# Dédicace

Je dédie ce modeste travail a :

Ma chère mère et mon honorable père pour leur soutien, leur aide

Leur patience et leur amour.

Mes frères

Mes sœurs

A tous mes enseignants chacun par son nom

Toute ma famille

Tous mes amis

A tous mes collègues chacun par son nom

A chaque personne qui m'a aidée.

## Liste des figures

Figure 1 : Répartition des échanges de chaleur d'une personne en fonction de la température ambiante, supposée homogène.....	25
Figure 2 : Pertes thermiques du corps humain et les paramètres dépendant .....	25
Figure 3 : Interaction thermique entre le corps humain et son environnement.....	27
Figure 4 : Exemple de plage de confort sur le diagramme de l'air humide.....	29
Figure 5 : Production de chaleur en fonction de l'activité .....	30
Figure 6 : Asymétrie de la température rayonnante et insatisfaction.....	31
Figure 7 : Gains thermiques internes d'un espace. ....	33
Figure 8 : Diagramme bioclimatique. ....	35
Figure 9 : Répartition des puissances reçues du soleil, selon les différentes orientations .....	36
Figure 10 : Direction du vent à la région de Tissemsilt .....	40
Figure 11 : Niveaux de confort selon l'humidité à Tissemsilt.....	41
Figure 12 : Rayonnement solaire incident en ondes courtes quotidien moyen dans la région de Tissemsilt	37
Figure 13 : Géo localisation sur la carte : Algérie. ....	45
Figure 14 : Mouvements de la Terre autour du soleil.....	47
Figure 15 : Trajectoire apparente du Soleil .....	48
Figure 16 : Latitude. Longitude. ....	52
Figure 17 : Les coordonnées horaires .....	53
Figure 18 : Déclinaison solaire .....	53
Figure 19 : Rayonnement Direct .....	54
Figure 20 : Rayonnement Diffus.....	55
Figure 21 : Rayonnement Global .....	56
Figure 22 : Rayonnement direct sur une surface inclinée .....	57
Figure 23 : Répartition approximative des déperditions thermiques dans le bâtiment.....	61
Figure 24 : Résistances thermiques superficielles intérieure et extérieure.....	63
Figure 25 : Description de modèle physique abordé .....	64
Figure 26 : Besoins de chauffage dans un bâtiment .....	68
Figure 27 : Déperditions surfaciques vers un local non chauffé.....	73
Figure 28 : évolution de la densité du flux solaire direct horizontal dans une journée solaire type.....	79
Figure 29 : évolution de la densité du flux solaire diffus horizontal dans une journée solaire type .....	79
Figure 30 : évolution de la densité du flux solaire global horizontal dans une journée solaire type.....	79
Figure 31 : évolution des trois composantes la densité du flux solaire horizontal dans une journée solaire type .....	80
Figure 32 : évolution de la température ambiante externe dans une journée solaire type.....	80

Figure 33 : évolution de la densité du flux solaire dans le mois de juillet pour une journée type dans l'année 2017 à la région de Tissemsilt .....	82
Figure 34 : évolution de la densité du flux solaire dans le mois de janvier pour une journée type dans l'année 2017 à la région de Tissemsilt.....	82
Figure 35 : évolution de la température ambiante au mois au mois de juillet pour une journée type dans l'année 2017 à la région de Tissemsilt.....	83
Figure 36 : évolution de la température ambiante au mois au mois de janvier pour une journée type dans l'année 2017 à la région de Tissemsilt.....	84
Figure 37 : évolution du flux solaire incident sur la toiture de l'enveloppe habitable au mois de juillet 2017 dans à la région de Tissemsilt.....	84
Figure 38 : évolution du flux solaire incident sur la façade sud de l'enveloppe habitable au mois de juillet 2017 dans à la région de Tissemsilt.....	85
Figure 39 : évolution de la température de la façade toiture de l'enveloppe habitable au mois de juillet 2017 dans à la région de Tissemsilt.....	86
Figure 40 : évolution horaire de la température interne de la façade plafond de l'habitable au mois de juillet 2017 dans à la région de Tissemsilt.....	86
Figure 41 : variation de la température de l'air combe dans une journée solaire type en fonction de l'épaisseur des parois d'habitat.....	86
Figure 42 : évolution de la température du confort thermique et de l'ambiance interne au sien de l'enveloppe habitable pour différentes catégories du béton .....	87
Figure 43 : évolution de la température du confort thermique et de l'espace chauffé au sien de l'enveloppe habitable pour déférentes catégories de matériaux de constriction dans une journée typique de l'année 2017 .....	88
Figure 44 : évolution de la température du confort thermique et de l'ambiance interne au sien de l'enveloppe habitable pour différentes catégories du bois .....	89

## Liste des Tableaux

Tableau 1 : Production de chaleur en fonction de l'activité .....	30
Tableau 2 : les seuils de bien-être thermique.....	31
Tableau 3 : les températures des mois ou cour de l'année dans la région de Tissemsilt .....	37
Tableau 4 : Evolution journalière de la température ambiante au mois de janvier 2017 dans la saison d'hiver pour la région de Tissemsilt .....	38
Tableau 5 : Evolution journalière de la température ambiante au mois de juillet 2017 pour la saison d'été dans la région de Tissemsilt .....	39
Tableau 6 : vitesse du vent moyenne pour chaque mois dans la région de Tissemsilt .....	41
Tableau 7 : Irradiation solaire global dans la région de Tissemsilt .....	42
Tableau 8 : Irradiation solaire diffuse dans la région de Tissemsilt .....	43
Tableau 9 : Irradiation solaire réfléchitif dans la région de Tissemsilt.....	43
Tableau 10 : la radiation solaire direct dans la région de Tissemsilt.....	44
Tableau 11 : Valeurs typiques de L'albédo du sol.....	55
Tableau 12 : Exemples de parois dans le bâtiment .....	60
Tableau 13 : Résistances d'échanges superficiels.....	63
Tableau 14 : Résistances partielles d'une paroi .....	64
Tableau 15 : dimensionnement de model physique .....	65
Tableau 16 : propriétés physico-thermique des matériaux de constrictio n .....	65
Tableau 17 : distribution de flux solaire sur l'habitat .....	65
Tableau 18 : Calcul des différentes deperditions thermiques dans un batiment.....	74

## Nomenclature

$a$	Azimet soleil	-
$C_p$	Chaleur spécifique	$J.Kg^{-1}.K^{-1}$
$C_w$	Chaleur spécifique	$J.Kg^{-1}.K^{-1}$
$D_0$	Durée du jour astronomique	h
$D_{te}$	Diamètre extérieur	m
$D_{ti}$	Diamètre intérieur	m
$D$	Rayonnement diffus	$W.m^{-2}$
$Ep$	Epaisseur de paroi	m
$Et$	Correction du temps	min
$e_k$	Epaisseur	m
$e_i$	Coefficient d'exposition au vent	-
$F_{surf-i}$	Facteur de forme géométrique	-
$f$	Coefficient de frottement	-
$G$	Rayonnement global	$W.m^{-2}$
$g$	Accélération de la gravité	$(9.8m.s^{-2})$
$Gr$	Nombre adimensionnel de Grashof	-
$h_t$	Coefficient d'échange convectif entre le fluide et la dalle	$W.m^{-2}.K^{-1}$
$h$	Hauteur du soleil	(°)
$h_{c,sup}$	Coefficient d'échange convectif de la surface supérieure	$W.m^{-2}.K^{-1}$
$h_{c,inf}$	Coefficient d'échange convectif de la surface inférieure	$W.m^{-2}.K^{-1}$
$h_{c-ext}$	Coefficient d'échange convectif avec l'air extérieur	$W.m^{-2}.K^{-1}$
$I_{b\beta}$	Rayonnement solaire direct	$W.m^{-2}$
$I_{bn}$	Intensité du rayonnement direct	$W.m^{-2}$
$I_{dn}$	Rayonnement solaire diffus	$W.m^{-2}$
$I_{r\beta}$	Rayonnement solaire réfléchi	$W.m^{-2}$

$I_{gh}$	Rayonnement solaire global reçu par une surface horizontal	$W.m^{-2}$
$J$	Jour type	-
$L^3$	Longueur caractéristique	m
$L$	Longueur	m
$M_f$	Nombre des pas d'espace dans le Domain du fluide	-
$\dot{m}$	Débit massique	$g.s^{-1}$
$N$	Nombre du jour écoulés depuis 1 <sup>ère</sup> Janvier	-
$P$	Pression	Pas
$P_{tr}$	Quantité de la chaleur transportée par le fluide	W
Pr	Nombre de Prandtl	-
$P_{dis}$	Puissance dissipée	$W.m^{-2}$
$q_{conv,inf}$	Quantité de la chaleur du à la convection par la surface inférieure	W
$q_{conv,sup}$	Quantité de la chaleur du à la convection par la surface supérieure	W
$Q_{emis}$	Quantité de la chaleur émise par un corps	W
$Q_{absor}$	Quantité de la chaleur absorbée par un corps	W
$q_{r1 \rightarrow 2}$	Quantité de la chaleur échangée de la surface 1 vers la surface 2	W
$Q_s$	Source de la chaleur	W
$Ra$	Nombre adimensionnel de Rayleigh	-
$S$	Surface	$m^2$
$S_0$	Durée d'insolation maximale	h
$S_{petite}$	surface de la petite ouverture d'introduction de l'air dans l'espace chauffé	$m^2$
$S$	Durée d'insolation	h
$T_1$	Température d'entre de fluide	$^{\circ}C$
$T_2$	Température de sortie de fluide	$^{\circ}C$
$T_{s,sup}$	Température de la surface supérieure	$^{\circ}C$

$T_{s,inf}$	Température du plancher	°C
$T_{air}$	Température de l'air	°C
$T_{ciel}$	Température de ciel	°C
$T_{int}$	Température interne	°C
$T_{VC}$	Température de la voute céleste	°C
$T_{COF}$	Température du couplage par la surface supérieure de fluide	°C
$Temps - G$	Temps global du calcul	S
$T_{sol}$	Température du sol	°C
$T_{amb}$	Température de l'ambiance	°C
$TSV$	Temps solaire vrai	H
$TSL$	Temps solaire local	H
$TSL$	Temps solaire local	H
$TU$	Temps universel	H
$t$	Temps	S
$T_a$	Température d'ambiance	°C
$T_{OP}$	Température opérative	°C
$T_{mrt}$	Température moyenne radiante	°C
$V_i$	Débit volumique de l'air	l/s
$V_{min}$	Débit d'air minimal	l/s
$V_{vent}$	Vitesse moyenne du vent	m.s <sup>-1</sup>
$V$	Volume	m <sup>3</sup>
<b>Symboles</b>		
$\alpha$	Coefficient d'absorption	-
$\beta$	Coefficient de dilatation	-
$\beta$	Angle inclinaison	(°)
$\Delta t$	Ecart du temps	S
$\delta$	Déclinaison	(°)

$\varepsilon$	Facteur émissivité	-
$\varepsilon_i$	Facteur correctif selon la hauteur volume chauffé	-
$\eta_{50}$	Taux horaire de renouvellement d'air	1/h
$\varphi$	Latitude de lieu	(°)
$\lambda$	Longitude de lieu	(°)
$\lambda_i$	Conductivité thermique de matériau (i)	$W.m^{-1}.k^{-1}$
$\lambda_f$	Conductivité thermique du fluide	$W.m^{-1}.k^{-1}$
$\lambda_t$	Conductivité thermique du tube	$W.m^{-1}.k^{-1}$
$\mu$	Viscosité dynamique	$Kg.m^{-1}.s^{-1}$
$\nu$	Viscosité cinématique	$m^2.s^{-1}$
$\rho$	Masse volumique	$Kg.m^{-3}$
<i>Albédo</i>	Coefficient de réflexion du sol	-
$\sigma$	Constante de Stefan-Boltzman	$W.m^{-2}.k^{-4}$
$\omega$	Angle horaire	(°)

### **Abréviation**

PS	Paroi Sud
PN	Paroi Nord
PE	Paroi Est
PO	Paroi Ouest
PF	Paroi fond plafond
PSI	Paroi Sud interne
PNI	Paroi Nord interne
PEI	Paroi Est interne
POI	Paroi Ouest interne
PFPI	Paroi fond plafond interne
PSE	Paroi Sud externe
PNE	Paroi Nord externe
PEE	Paroi Est externe

POE                    Paroi Ouest externe  
PFPE                  Paroi fond plafond externe

**Indices**

<i>a</i>	Ciment
<i>b</i>	Pierre
<i>c</i>	Plâtre
<i>h</i>	Béton
<i>d</i>	Carrelage
<i>g</i>	Hourdis
<i>s</i>	Sable
<i>p</i>	Porte de la pièce
<i>f</i>	Fenêtre de la pièce
<i>ps</i>	Porte de la salle de séjour
<i>fs</i>	Fenêtre de la salle de séjour
<i>fij</i>	Facteur de forme entre les surfaces i et j
<i>pol</i>	Indice du polystyrène
<i>i, j</i>	Surfaces
<i>1</i>	Mur Sud du salon
<i>2</i>	Mur Ouest du salon
<i>3</i>	Toit du salon
<i>4</i>	Air intérieur du salon
<i>5</i>	Mur Est du salon
<i>6</i>	Sol du salon
<i>7</i>	Mur Nord du salon
<i>8</i>	Mur Sud extérieur du salon
<i>9</i>	Mur Ouest extérieur du salon
<i>10</i>	Mur Sud de la pièce
<i>11</i>	Mur Est de la pièce
<i>12</i>	Toit de la pièce
<i>13</i>	Air intérieur de la pièce
<i>14</i>	Mur Ouest de la pièce
<i>15</i>	Sol de la pièce
<i>16</i>	Mur Nord de la pièce
<i>17</i>	Mur Sud extérieur de la pièce
<i>18</i>	Mur Est extérieur de la pièce
<i>tpext</i>	Surface extérieure du toit de la pièce

*tsex*

Surface extérieure du mur Nord du salon

*nextp*

Surface extérieure du mur Nord de la pièce

*nexts*

Surface extérieure du mur Nord du salon

*solext*

Surface du sol à l'extérieur

*sints*

Surface du sol à l'intérieur

# Sommaire

Remerciements .....	1
Dedicaces.....	2
Liste des figures.....	3
Liste des tableaux .....	5
Nomenclature .....	6
symboles .....	9
Abréviation.....	10
Indices .....	10
Sommaire.....	11
Introduction generale.....	15

## Chapitre 1: recherche bibliographique

Introduction .....	19
1.1 Le confort thermique entre perception et évaluation.....	19
conclusion.....	22

## Chapitre 2 : la notion de confort thermique et le gisement Solaire dans la Région de Tissemsilt

2. Introduction .....	24
2.2 La notion de confort .....	24
2.2.1 le confort .....	24
2.2.2 le confort thermique.....	25
2.3 paramètres influent le confort thermique.....	27
2.3.1 température de l'air .....	27
2.3.1.1 la température de l'air ambiant .....	27
2.3.1.2 la température des parois.....	27
2.3.1.3 la température du sol.....	28
2.3.2 l'humidité relative de l'air (HR) .....	28
2.3.3 le plage de confort températue-humidité .....	29
2.3.4 la vitesse de l'air .....	29
2.3.5 le métabolisme .....	29
2.3.6 gêne thermique localisée.....	31
2.3.7 asymétrie de rayonnement .....	31
2.4 paramètres liés à l'individu .....	31

2.4.1 l'ambiance thermique .....	31
2.4.1.1 les différentes notions d'ambiance thermique.....	32
2.4.1.1.1 ambiance thermique neutre .....	32
2.4.1.1.2 ambiance thermique froide .....	32
2.4.1.1.3 ambiance thermique chaude.....	32
2.5 paramètres liés aux gains thermiques internes .....	33
2.6 Les approche du confort thermique .....	34
2.6.1 l'approche statique du confort thermique .....	34
2.6.2 l'approche adaptive du confort thermique .....	34
2.7 facteur d'inconfort thermique.....	34
2.8 évaluation du confort thermique.....	34
2.9 les outils graphiques d'évaluation du confort thermique .....	35
2.9.1 déffinition du diagramme bioclimatique .....	35
2.10 les paramètres liés au cadre bâti .....	36
2.10.1 l'implantation.....	36
2.10.2 l'orientation.....	36
2.10.2.1 l'orientation par rapport au vent .....	37
2.10.2.2 la form architecturale.....	37
2.11 les outils graphiques d'évaluation du confort thermique .....	37
2.11.1 la température .....	37
2.11.2 le vent.....	40
2.11.3 l'humidité.....	41
2.11.4 rayonnement solaire.....	42
2.11.5 coordonnée géométrique de la région de Tissemsilt.....	44
2.11.6 situation géographique de la région de Tissemsilt.....	45
2.12 conclusion.....	45

### **Chapitre 3 : Etat de l'art et Formulation Mathématique**

3.1 Introduction .....	47
3.2 rayonnement solaire :bases de calcul et équation fondamentales .....	47
3.2.1 mouvements de la terre .....	47
3.3 apparent du solail.....	48
3.4 heure et temps.....	49
3.4.1 durée astronomique du jour .....	49
3.4.2 degré jour .....	49
3.5 soleil .....	50

3.6 rayonnement hors atmosphère-contant solaire .....	50
3.7 rayonnement solaire reçu par la terre .....	51
3.8 repérage dun point sur la surface de la terre .....	51
3.8.1 longitude .....	51
3.8.2 Latitude .....	51
3.9 coordonnées horaires .....	52
3.10 angle horaire .....	52
3.11 déclinaison solaire .....	53
3.12 rayonnement solaire au sol .....	53
3.12.1 rayonnement direct $I_b$ .....	54
3.12.2 rayonnement diffus $I_d$ .....	54
3.12.3 rayonnement réfléchi $I_r$ .....	55
3.12.4 rayonnement global $I_G$ .....	56
3.12.4.1 rayonnement global sur une surface horizontale .....	56
3.12.4.2 rayonnement global sur une surface inclinée .....	56
3.13 estimation rayonnement solairesur une surface .....	56
3.13.1 rayonnement direct .....	57
3.14 différentes méthodes de modelisation énergétique de batiment .....	57
3.14.1 méthode nodale .....	58
3.14.2 CFD (Computational Fluide Dynamiqucs) .....	58
3.14.3 méthode zonale .....	59
3.15 Performance énergétique d'un batiment .....	59
3.15.1 apports d'énergie dans le batiment .....	59
3.15.2 déperdition à travers l'enveloppe du bâtiment .....	60
3.15.3 combles et la toiture .....	61
3.15.4 parois verticales .....	61
3.15.5 menuiseries extérieures .....	61
3.15.6 sol .....	61
3.15.7 renouvellement d'air .....	62
3.16 calcul du bilan énergétique d'un batiment .....	62
3.16.1 résistance thermique d'échange superficiel .....	62
3.16.2 résistance thermique totale .....	63
3.17 description de modèle physique abordé (la maison de notre étude) .....	64
3.18 distribution de flux solaire sur l'habitat .....	65
3.19 organigramme de la simulation numlérique .....	67
3.20 bilan thermique d'un batiment .....	68

3.20.1 déperditions sur une période .....	71
3.20.1.1 déperditions linéiques .....	72
3.20.1.2 déperditions ponctuelles .....	72
3.20.1.3 déperditions vers les locaux non chauffés.....	72
3.20.2 apports gratuits .....	74
3.20.2.1 apports internes des habitants .....	74
3.20.2.2 apports solaires .....	74
3.20.2.3 apports dus à l'éclairage.....	75
3.20.2.4 apports spécifiques .....	75
3.20.3 besoins en chauffage .....	75
3.20.4 besoins en climatisation.....	76
3.21 conclusion.....	77

## **Chapitre 4 : Résultats et Discussions**

4.1 Introduction .....	78
4.2 évaluation de la densité du flux solaire pour un plans horizontal .....	78
4.3 évaluation de la température de l'ambiance externe .....	80
4.4 evolution des paramètres climatologiques .....	81
4.4.1 évolution de la densité du flux solaire .....	81
4.4.2 évolution de la température d'ambiante .....	82
4.5 analyses des échanges thermiques externes de l'habitat.....	83
4.5.1 évolution du flux solaire sur la facade toiture de l'enveloppe habitable .....	83
4.5.2 évolution du flux solaire sur la facade sud externe de l' habitable .....	84
4.6 analyse des échanges thermiques internes de l'habitat.....	85
4.6.1 évolution de la température de la facade interne du fond plafond de l'habitale .....	85
4.6.2 évolution de la température de l'air interne de l'habitat en fonction de l'épaisseur des parois.....	86
4.7 évaluation de la température de la confort thermique de l'envloppe habitable .....	87
4.7 conclusion.....	89
Conclusion generale .....	91
Bibliographie.....	92
Résumé.....	95
Abstract.....	95
الملخص.....	96

# *Introduction Générale*

## **Introduction générale**

Au cours des dix dernières années, nous avons assisté à un véritable engouement autour des actions en faveur de la haute qualité environnementale. En effet, le secteur du bâtiment résidentiel et tertiaire est l'un des secteurs le plus consommateur d'énergie [1]. Cependant, les bâtiments et les maisons individuelles sont conçus pour jouer un rôle de filtre thermique permettant de recréer un microclimat intérieur indépendant des fluctuations météorologiques extérieures. La forme, l'orientation, l'agencement et la composition des éléments constitutifs déterminent les caractéristiques de ce filtre. Les ambiances intérieures ne répondant pas toujours aux exigences du confort des occupants, la réponse l'habitat est corrigée par des appareils de climatisation ou du chauffage agissant comme des sources contrôlées de chaleur ou de froid, et ayant parfois un effet sur les conditions de confort [2].

Les normes de confort sont encore relativement frustrées : Une consigne de température résultante moyenne à respecter pendant la période de chauffage, une température qu'il est recommandé de ne pas dépasser trop souvent pendant la saison chaude. Ces contraintes sont quelquefois affinées dans des cahiers des charges particulières, notamment lorsqu'il s'agit d'une maison à usage individuel. Dans tous les cas, les appareils de chauffage ou la climatisation consomment de l'énergie et entraînent de ce fait des coûts de fonctionnement qui peuvent être très élevés. Ils n'arrivent d'ailleurs pas toujours à redresser complètement une mauvaise conception architecturale, des périodes d'inconfort pouvant subsister, nous en avons tous fait l'expérience un jour ou l'autre [2].

Dans le cadre de changement climatique où la limitation des gaz à effet de serre est essentielle, et devant la menace d'épuisement des combustibles fossiles, le défi présenté est de trouver des sources d'énergie innovantes pour répondre à une nécessité toujours plus pressante.

De plus, les modèles décrivant le comportement thermodynamique des maisons individuelles permettent de mieux comprendre et concevoir l'enveloppe passive en vue d'obtenir les moindres consommations énergétiques et un plus grand confort, de prédire la réponse de l'habitat à des situations extrêmes afin de dimensionner les installations et, enfin, d'aider à mettre au point de nouveaux systèmes ou stratégies de contrôle [2].

Le problème abordé dans ce travail est de rationaliser le recours à des énergies coûteuses et de concevoir des enveloppes habitables dans la région de Tissemsilt plus confortables. Cela a amené les différents acteurs du processus de conception et de gestion des maisons à chercher de mieux connaître et de bien maîtriser le comportement en se basant sur l'optimisation énergétique des

paramètres géométriques et thermiques influençant le confort dans l'habitat [2]. Ceci représente l'objectif principal de ce travail.

Pour atteindre cet objectif, nous nous intéresserons ici aux méthodes de calcul qui permettent de modéliser les locaux habitables ; il s'agit de prévoir et expliquer l'évolution de leurs comportement thermique et de prévoir les conséquences qui en découlent en réponse aux excitations que lui appliquent leurs environnements climatiques naturel et les exigences thermiques que nous devons tenir en considérations [2].

Autrement dit, la détermination des consommations énergétiques dans une maison individuelle peut se limiter à des bilans de masse et d'énergie, des connaissances sur le champ de température et l'allure des mouvements d'air sont nécessaires pour effectuer une étude plus poussée [3]. D'ailleurs ces données permettent d'évaluer le confort thermique des occupants (problèmes de renouvellement d'air, forts gradients de température, courants d'air, stratification) [3].

Le présent travail est structuré en trois grands chapitres en plus l'introduction et la conclusion générale.

Le premier chapitre porte sur le gisement solaire dans la région de Tissemsilt. Ce chapitre est consacré pour les notions fondamentales dont il nous a paru utile dans le gisement solaire. Ensuite, nous avons étudié les principales formules générales exprimant les rayonnements solaires sur un plan d'orientation quelconque.

Le deuxième chapitre, est consacré pour le développement des bases théoriques des méthodes numériques. Ces méthodes numériques sont les plus couramment utilisées dans la modélisation des systèmes d'équation régissent le comportement thermodynamique des systèmes de chauffage solaire à usage individuel. En plus, on expose le cadre conceptuel de la problématique de ce travail.

Le troisième chapitre est réservé à l'interprétation des résultats obtenus par la simulation numérique telles que : la densité du flux solaire incident sur les différentes façades de la maison individuelle et la température restituée par chaque façade de l'enveloppe habitable, et la température du confort thermique à l'intérieur de l'espace chauffé.

Nous concluons ce travail en synthétisant les résultats obtenus à la fois sur le plan théorique et sur le plan pratique.

# **Chapitre N°01**

## ***Recherche Bibliographique***

## Introduction

L'habitat désigne le lieu de vie des hommes. Cela correspond à la maison, mais aussi à l'espace autour, où les hommes circulent, travaillent, se divertissent...L'habitat semble être l'un des plus anciens concepts de l'humanité, un concept à peu près aussi important que celui de la nourriture. En effet pour produire un cadre de vie pour répondre à ses aspirations l'homme a toujours cherché à satisfaire et à assurer son bien être et son confort soit-il thermique sonore ou visuel.

La recherche de conditions de confort est depuis toujours un important moteur pour développement scientifique et technique.

### 1.1. Le confort thermique entre perception et évaluation

**Françoise THELLIER et al [4]:** Ils sont conclu afin de leur travail Si l'on travaille sur la réponse de l'être humain à des stimuli thermiques, on ne peut pas limiter l'analyse des situations à l'étude d'un ou de plusieurs paramètres physiques, car c'est faire totalement abstraction du fait que toutes les parties du corps humain sont liées les unes aux autres et que l'homme est un système actif. Il est clair que la notion de confort global n'est pas suffisante.

Ils sont considérer qu'à l'heure actuelle les modèles de physiologie sont suffisamment fiables pour être utilisé pour le développement de nouvelles solutions techniques car ils permettent d'aborder les problèmes d'inconforts locaux en situations hétérogènes et en régime instationnaire. Ceci nécessite une représentation fine des conditions climatiques. ils ont utilisé Un modèle de thermo-physiologie au sein d'une simulation complète d'un bâtiment et ce modèle peut être un outil très utile pour analyser les performances d'un système de chauffage ou de climatisation afin de choisir non plus seulement sur des critères de coût énergétique mais aussi de sensations thermiques optimales. Il faut noter que des régulateurs à auto apprentissage ont déjà été développés dans le domaine des véhicules. On peut alors envisager de dimensionner les équipements pour obtenir des conditions de confort thermique tout en mettant ensuite à la disposition de l'utilisateur un certain nombre de systèmes pour qu'il puisse adapter la situation à ses préférences personnelles.

**Abdellatif OUDRANE et al [5]:** Ils sont faire une étude numérique d'un écoulement laminaire dans une chaîne tubulaire d'une dalle de plancher chauffant basé sur un modèle de stabilisation résolu avec les algorithmes de Gausse et de Thomas. Les équations de transport de la quantité du mouvement et de la chaleur sont les équations classiques de la convection forcée. Pour décrire le transfert de la quantité du mouvement dans la canalisation de la dalle chauffante (milieu fluide), nous avons retenu le modèle simplifié de PRANDTL qui tient en compte que les termes les plus importants pour un écoulement laminaire dans la canalisation. Pour cela, une résolution numérique des équations régissant cet écoulement à été effectuée. Ces équations ont été discrétisées par une méthode implicite aux différences finies. Les systèmes d'équations algébriques ainsi obtenus ont été résolus par les algorithmes de Gauss et Thomas. Les résultats de la simulation

numérique ont mis en évidence l'effet des paramètres géométriques et thermiques de la canalisation sur l'évolution de la température et la vitesse du fluide caloporteur.

**Abdellatif OUDRANE et al [6]:** Ils ont étudié les échanges thermiques dans une enceinte habitable située dans une région désertique de l'Algérie (Adrar). Les parois de l'enceinte sont les seuls éléments capacitifs. Elles sont thermiquement couplées par convection et rayonnement et sont le siège de flux conductifs. Les façades externes de l'enceinte sont le siège d'un flux convectif avec l'air extérieur et d'échanges radiatifs avec l'environnement (sol et ciel). Les échanges thermiques sont étudiés en utilisant les équations des bilans établis au niveau de chaque paroi de l'enceinte. Ces équations ont été discrétisées par une méthode implicite aux différences finies. Les systèmes d'équations algébriques ainsi obtenus ont été résolus par l'algorithme de Gauss à l'aide de la méthode nodale monodimensionnelle. Nous avons analysé les effets de la température ambiante extérieure, de la densité du flux solaire incident sur les façades et de l'orientation de l'enceinte habitable dans le plan méridien sur les distributions de la température des parois interne et de l'air comble dans l'enceinte. Une analyse de l'évolution de la température de l'ambiance interne en fonction du facteur d'exposition au vent de l'espace chauffé et du degré d'étanchéité des portes et fenêtres a été également menée à la fin de ce travail.

**A. Abdellatif Oudrane et al [7]:** ils ont étudié l'effet des conditions climatiques externes sur l'évolution du flux solaire quotidien incident sur les murs d'un bâtiment situé dans la région de l'Adrar au sud de l'Algérie. Ce bâtiment est conçu pour des applications de chauffage ou de climatisation. Des simulations numériques ont permis de comparer la variation du flux solaire incident sur une journée complète sur les murs sud, est, nord et ouest du bâtiment aux valeurs de flux solaire sur un mur horizontal (le plafond extérieur). Le flux solaire global horizontal est calculé à l'aide d'une fonction sinusoïdale gaussienne. Les simulations ont été réalisées dans le cas d'un bâtiment situé dans une zone désertique. Les résultats de la simulation numérique ont montré l'effet de l'orientation du bâtiment sur l'évolution du flux solaire quotidien incident.

**OUDRANE Abdellatif et al [8] :** ils ont étudié l'effet des conditions de la température et du flux solaire externe, sur l'évolution du flux solaire journalier incident sur les parois d'un habitat situé dans la région d'ADARAR en Algérie. Les simulations numériques ont permis de comparer l'évolution de flux solaire durant une journée complète sur les parois de l'habitat Sud, Est, Nord et Ouest partant des valeurs du flux solaire global d'une paroi horizontale (le plafond externe). Ce flux solaire global horizontal est calculé par une fonction sinusoïdale de Gauss. Les équations du calcul de flux solaire direct horizontal, flux diffus horizontal, direct incliné, diffus incliné et le flux solaire global pour une paroi inclinée ont été résolus numériquement à l'aide de la méthode nodale dans un cas monodimensionnel. Cette modélisation est basée sur le modèle de Liu et Jordan. Les simulations ont été effectuées dans le cas d'un habitat de zone désertique. Les résultats ont montré

l'effet des conditions externes telles que la température d'ambient et l'angle du jour sur l'évolution journalière du flux solaire incident sur les différentes orientations des parois de l'habitat.

**HAMDANI Maamar [9]** : il avait étudié l'influence de l'isolation, de l'orientation et de l'inertie thermique de l'enveloppe du bâtiment sur les températures de l'ambiance intérieure. Pour atteindre leur objectif, il avait mis en œuvre une démarche méthodologique adaptée par un modèle numérique développé sous le code de calcul « MATLAB ». Les résultats du modèle testé ont été confrontés aux valeurs expérimentales, les modèles mathématiques sont validés expérimentalement. La fonction de ces modèles est de calculer les différentes températures délivrées sous l'effet des conditions climatiques et environnantes disponibles. La comparaison a permis de savoir que les résultats du modèle étaient dans l'ensemble satisfaisants. On peut conclure que: La mesure d'amélioration la plus justifiée économiquement est l'isolation thermique. L'orientation d'une habitation bien isolée thermiquement n'influe pas considérablement sur la température intérieure. L'inertie thermique de ces constructions peut donc générer de l'inconfort. Il s'avère qu'une bonne utilisation de l'inertie thermique de la pierre joue un rôle essentiel dans le confort thermique d'une habitation.

**H. M'Sellem et al [10]**: l'analyse de leur travail a montré la différence importante entre le confort thermique calculé et mesuré par les techniques d'analyse bioclimatiques et les indices thermiques et le confort perçu par les occupants des lieux de travail à travers la ville de Biskra. Ceci confirme l'hypothèse de l'inadaptation des techniques de calcul par diagrammes et indices bioclimatiques, à évaluer le confort thermique réel dans les cas étudiés et par conséquent les besoins des occupants en régulation thermique. La perception représente la technique adaptée pour l'évaluation du confort pour une population donnée. Ce qui permettra de proposer les stratégies nécessaires et suffisantes de régulation hygrothermique. Cette technique permettra aussi la construction des limites du confort thermique, avec des mesures synchroniques in -situ par des appareils sophistiqués.

### **Conclusion**

Le confort est une notion globale: chaleur et froid, lumière, bruit, paysage, eau, verdure, prestige.... et autre, sont autant d'éléments définissant plusieurs paramètres climatiques, esthétiques, psychologiques du confort. Le confort est également la sensation subjective qui n'existe pas en lui-même. Ce n'est que par l'inconfort qu'on peut l'apprécier. Cette appréciation est différente selon la société et pour une même société suivant les individus. Des chercheurs commencent à défier l'hypothèse d'universalité, et à discuter que le fait de ne pas prendre en compte les dimensions culturelles, sociales, économiques et climatiques dans l'évaluation du confort, conduit à une exagération dans la définition des besoins pour le chauffage et la climatisation, c'est grâce à l'application universelle des

outils d'évaluation du confort thermique qu'un inconfort thermique important est perçu par les sujets considérés. De ce fait, il n'existe pas de combinaison parfaite de conditions de confort du moment que celles-ci ne sont pas forcément reliées au contexte, qu'il y'a interaction entre les sensations et différence d'appréciation d'un individu à un individu, et d'une société à une autre.

# Chapitre N°02

*La notion de confort  
thermique et le Gisement  
Solaire dans la Région de  
Tissemsilt*

## 2. Introduction

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire. [11]

Dans ce chapitre nous allons présenter quelques données météo logiques pour le site d'implantation des locaux habitables. Ces données permettent de prendre en compte les interactions adaptatives entre la position astronomique du soleil au ciel avec la densité du flux solaire incident sur les différents types du plan dans l'environnement.

### 2.1.1. La notion Le confort

#### 2.1.2. Le confort

Le confort est un état de bien-être général. Il est mesuré *a contrario* par le taux d'insatisfaction des occupants. Indépendamment des conditions propres à l'individu (métabolisme, activité, habillement), il est reconnu que les paramètres suivants interviennent dans le confort, en plus des paramètres qui caractérisent l'individu lui-même (taux d'activité, habillement, etc.)[12]:

- Conditions thermiques:
  - Température de l'air
  - Sources de rayonnement (radiateurs, poêles, soleil)
  - Température des surfaces environnantes
  - Perméabilité thermique des surfaces en contact avec le corps
- Qualité de l'air:
  - Vitesse relative de l'air par rapport au sujet
  - Humidité relative de l'air
  - Pureté ou pollution de l'air, odeurs
- Acoustique:
  - Niveau de bruit, nuisance acoustique
  - Temps de réverbération (durée d'écho)
- Visuel:
  - Éclairage naturel et artificiel
  - Couleurs
  - Volumes intérieur et distribution des volumes
- Autres influences:
  - Degré d'occupation des locaux

Nous nous limiterons ici essentiellement aux conditions thermiques et aérauliques [5].

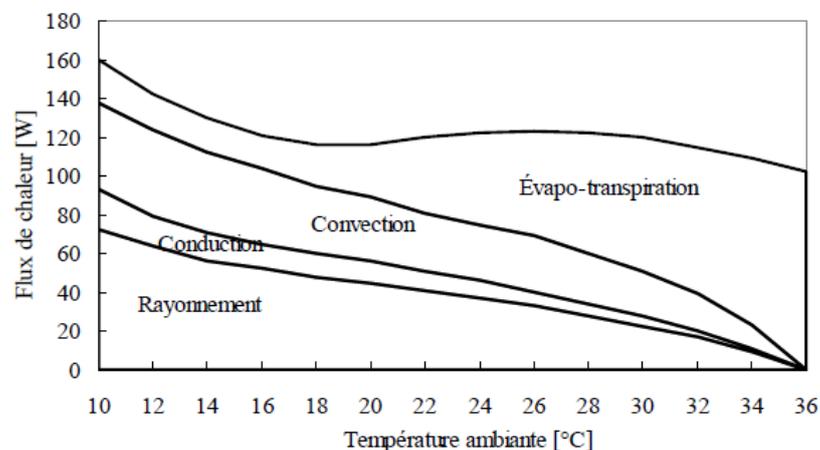
### 2.1.3. Confort thermique

Le confort est donc une sensation physiologique faisant intervenir plus d'un paramètre. Le confort thermique ne tient compte que des paramètres suivants [12]:

- Les facteurs liés à l'individu:
  - Son activité et le rendement de cette activité
  - Son habillement
- Les facteurs liés à l'environnement:
  - Températures de l'air et des surfaces environnantes
  - Vitesse relative de l'air et le degré de turbulence
  - Pression de vapeur d'eau ou humidité relative

En effet, la chaleur dégagée par le métabolisme, plus ou moins grande selon l'activité, est éliminée, directement ou au travers des habits, par convection et conduction vers l'air ambiant, par rayonnement vers les surfaces voisines et par évapotranspiration dans l'air (Figure 01). On notera que, dans la zone confortable, les échanges par rayonnement, convection - conduction et évapotranspiration se répartissent en trois parts approximativement égales [12].

Ainsi, contrairement à ce qui est généralement admis, il est erroné de vouloir satisfaire ces critères de confort par une simple régulation de la température de l'air intérieur de l'habitation [12].



**Fig. 1- Répartition des échanges de chaleur d'une personne en fonction de la température ambiante, supposée homogène [12].**

Le confort thermique constitue une exigence essentielle, dans laquelle le concepteur doit apporter les réponses nécessaires. L'environnement thermique, est caractérisé par quatre grandeurs physiques : la température de l'air, l'intensité de rayonnement solaire, l'humidité et la vitesse de l'air. Ces variables, réagissent avec l'activité et la vêtue du corps humain pour établir son état thermique, et constituent ensemble les six paramètres de base des échanges thermiques entre l'homme et son environnement [13].

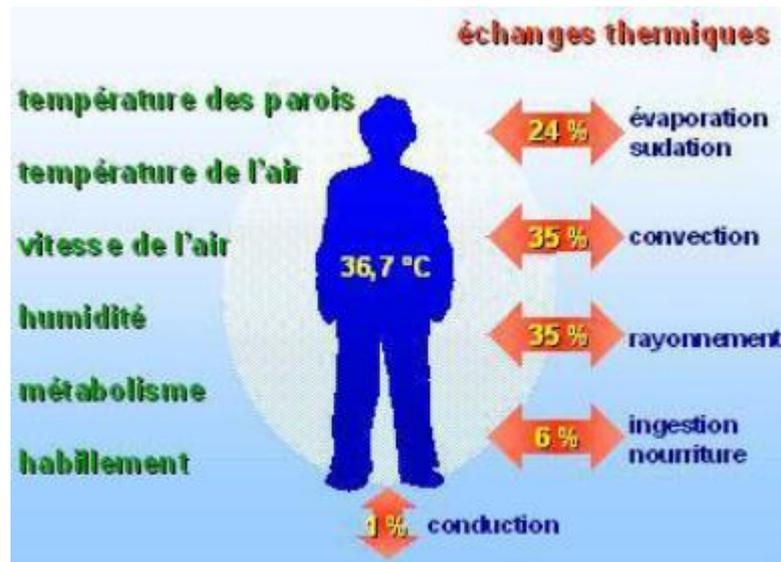
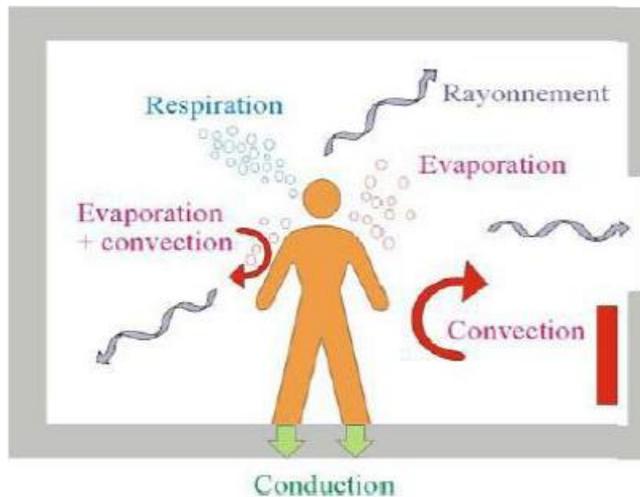


Fig. 2 - Pertes thermiques du corps humain et les paramètres dépendant [13].

Le confort thermique est très complexe, en raison de l'interaction de plusieurs variables environnementales et personnelles. Le maintien de l'équilibre thermique entre le corps humain et son environnement, est l'une des principales exigences pour la santé, le bien-être et le confort [14].

Les conditions dans lesquelles on obtient cet équilibre, est l'état du corps lorsqu'il atteint l'équilibre avec son environnement, dépendant de la conjugaison de nombreux facteurs. Certains de ces facteurs sont d'ordre personnel (l'activité physique, le niveau d'habillement, etc.) et d'autres sont des facteurs de l'environnement tels que la température de l'air, le rayonnement solaire, l'humidité relative et le mouvement de l'air [15].

Le confort thermique, a été défini comme l'état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique établi par échange thermique entre le corps et son environnement [13]. Le confort thermique dépend du contexte et des caractéristiques individuelles. Il est conçu comme un processus adaptatif dynamique qui intègre les différents mécanismes physiques, physiologiques et psychologiques [15].



**Fig. 3- Interaction thermique entre le corps humain et son environnement [13].**

## **2.2. Paramètres influant le confort thermique**

### **2.2.1. Température de l'air**

Compte tenu de son importance dans l'intensité des échanges thermiques, il est naturel de s'intéresser à la température qui caractérise l'environnement ambiant du logement.

On distingue [16] :

#### **2.2.1.1. La température de l'air ambiant**

C'est la température de l'air mesurée à l'ombre, comprise généralement entre 19°C en hiver et 26°C en été. L'enveloppe de l'habitat doit être capable de maintenir la température dans cette fourchette malgré les écarts de la température extérieure. Aussi, il faut assurer une certaine homogénéité dans l'espace [16].

#### **2.2.1.2. La température des parois**

La température des parois influence les échanges thermiques par rayonnement. Elle est égale à la moyenne des températures des parois environnantes pondérées par leur surface [16]. Moins de 4° de différence avec l'air ambiant : est utilisée dans le calcul des échanges radiatifs des grandes longueurs d'onde entre l'individu et l'environnement.

La température des parois couplée à la température de l'air donne une idée sur le confort ressentie (appelée aussi température résultante sèche ou température opérative), cette dernière se détermine selon l'équation suivante [17] :

$$T_{RS} = \frac{(T_a + T_p)}{2}$$

### 2.2.1.3. La température du sol

C'est la combinaison air/parois. Pour une humidité donnée, en l'absence de courant d'air douillet, on estime que la température effectivement ressentie est la moyenne entre celle de l'air et celle des parois [16].

Il intervient dans l'évaluation du bilan thermique de l'homme au niveau des échanges convectifs, conductifs et respiratoires [18].

Généralement, pour évaluer le confort thermique dans le bâtiment, la température ambiante de l'air est couplée par d'autres paramètres climatiques tels que : la vitesse d'air, l'humidité, prendre tout seule peut induire en erreur et ne donne pas une idée précise sur le confort thermique. La température ambiante altère la sensation de chaleur, lorsque le niveau de l'humidité est élevé et la vitesse de l'air faible, la sensation d'humidité de la peau augmente également avec la température ambiante [18].

Mais sous des conditions, faible humidité et une vitesse de l'air élevée, la peau peut rester sèche même à des températures fortes (malgré l'augmentation de la sueur).

La température de l'air ambiant ou température sèche est mesurée par un thermomètre au bulbe sec (thermomètre doit être aplati pour éviter l'influence du rayonnement), l'intervalle de confort va généralement de 18 à 25 °C [18].

### 2.2.2. L'humidité relative de l'air (HR)

L'air contient de la vapeur d'eau. Le taux d'humidité (qui varie de 0 à 100%), mesure la quantité d'eau. Plus la température augmente, plus l'air peut contenir de la vapeur d'eau : à 15°C, l'air contient 10g de la vapeur d'eau par kg d'air, alors qu'à 20°C, cette quantité passe à 15g. Entre 30 et 70%, l'humidité relative pèse peu sur la sensation de confort thermique. Nous restons dans la zone de confort. Sous 20%, l'air est trop sec et France de 80%, trop humide [13].

L'humidité relative par définition est : « le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température ambiante et la quantité maximale qu'il peut contenir à cette température » [19].

L'humidité détermine la capacité évaporatoire de l'air et donc l'efficacité de refroidissement de la sueur (relative à la différence entre les tensions de vapeur d'eau de l'air ambiant et celle de la peau). Dans le cas où le corps humain n'atteint pas à évaporer toute la sueur, une couche liquide se forme sur la peau (peau humidifiée).

Les réactions physiologiques et sensorielles dû à l'humidité sont relevés lorsque la vitesse de

L'air augmente. Entre 30% et 70% elle pèse peu sur la sensation du confort thermique.

### 2.2.3. La plage de confort température-humidité

Pour un confort optimal et pour une température de l'air aux environs de 22°C, on peut dès lors recommander que l'humidité relative soit gardée entre 40 et 65 %. Plus précisément, on peut définir une plage de confort hygrothermique dans le diagramme présenté sur la figure 04.

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.

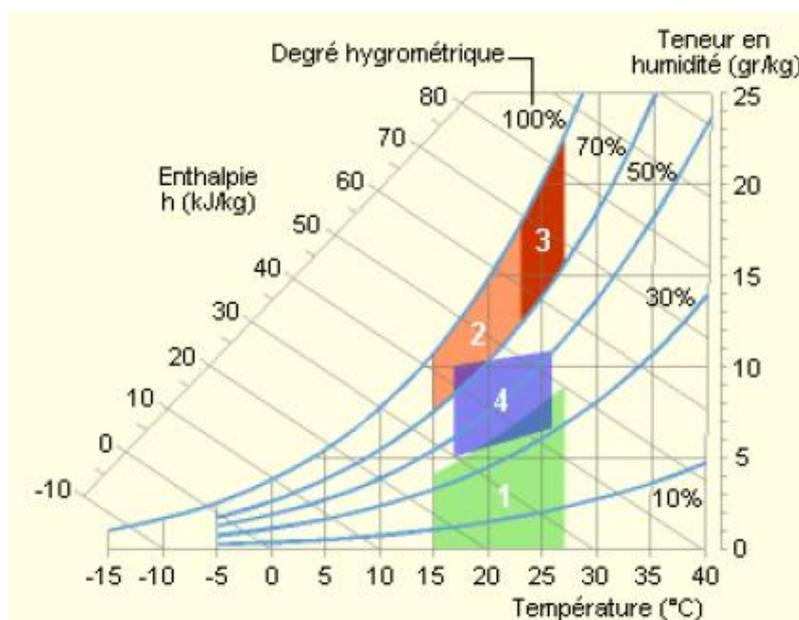


Fig. 4-Exemple de plage de confort sur le diagramme de l'air humide [21]

### 2.2.4. La vitesse de l'air

La vitesse de l'air influe sur les échanges convectifs et évaporatifs, à l'intérieur des bâtiments ces vitesses demeurent limitées et ne dépassent pas 0,20m/s. Toutefois elle est responsable à l'apparition de gêne chez l'occupant, lié à la présence de courants d'air froids ou chauds [18].

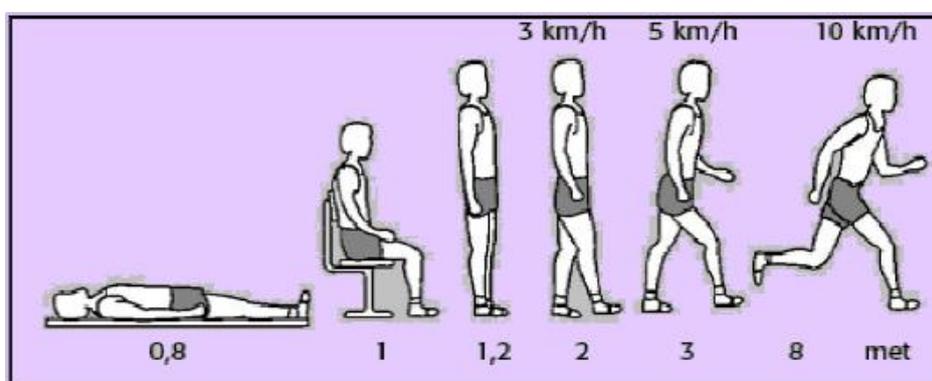
### 2.2.5. Le métabolisme

Il s'agit de la production de chaleur interne au corps humain permettant de maintenir celui-ci autour de 36,7 °C. Lorsqu'une personne est en mouvement, un métabolisme de travail correspondant à son activité particulière s'ajoute au métabolisme de base du corps au repos [18].

.Le niveau d'activité se mesure en « met », les valeurs caractéristiques de l'activité métabolique des individus sont fournies dans le tableau suivant :

**Tableau 1 - Production de chaleur en fonction de l'activité [22].**

Activité	produit de chaleur	
	MET	w/m <sup>2</sup>
Repose	0,8	46
assis inactif	1	58
debout, décontracté	1,2	70
assis en activité travaux de bureau	1,2	70
activité légère debout	1,6	93
activité moyenne debout	2	116
activité importante (travaux lourds des industries)	3	174

**Fig. 5 - Production de chaleur en fonction de l'activité [22].**

Selon le Guide technique de la diffusion d'air, les conditions qui déterminent le bien-être thermique (cités dans le tableau suivant), selon la norme ISO 7730 (conditions thermiques modérées), sachant que ces conditions ne prennent pas en compte les exigences d'économie d'énergie [18].

**Tableau 2- les seuils de bien-être thermique [22].**

<b>température opérative</b>	
<b>été :</b>	23/26 °C
<b>hiver :</b>	20/24 °C
<b>différence verticale de température : &lt;2/3 °C</b>	
<b>température surfacique du sol</b>	
<b>en général :</b>	19/26 °C
<b>un sol rayonnant :</b>	19/29 °C
<b>asymétrie de rayonnement :</b>	
<b>en général :</b>	< 10 °c
<b>plafond radiant :</b>	< 5 °c
<b>vitesse moyenne de l'air <math>V_r</math></b>	
<b>été :</b>	<0,25 m/s
<b>hiver :</b>	< 0,15 m/s

## 2.2.6. Gêne thermique localisée

Les inconforts locaux sont causés par plusieurs facteurs à savoir : l'asymétrie de rayonnement horizontale et verticale, température du sol, des différences de température d'air le long de corps, la sensation de courant d'air, une humidité excessive ou insatisfaisante [18].

## 2.2.7. Asymétrie de rayonnement

Est définie par la différence de température radiante moyenne entre deux faces d'une pièce. Elle peut engendrer une sensation d'inconfort. « Les parois froides ou chaudes entraînent des déséquilibres au niveau des échanges radiatifs qui peuvent engendrer une sensation d'inconfort. On considère qu'il n'y a pas de gêne si, à 1m devant la façade, l'écart entre la température radiante orientée vers cette façade et la température radiante vers la cloison opposée ne dépasse pas 8° C » [23].

D'après la figure 06, on notera que le plafond chaud est nettement moins bien supporté qu'un plafond froid, alors qu'une paroi chaude est préférée qu'une paroi froide [23].

Généralement, « l'asymétrie de température rayonnante due à des surfaces verticales froides doit être inférieure à 10°C. L'asymétrie rayonnement due à un plafond chauffant doit être inférieure à 5°C » [23].

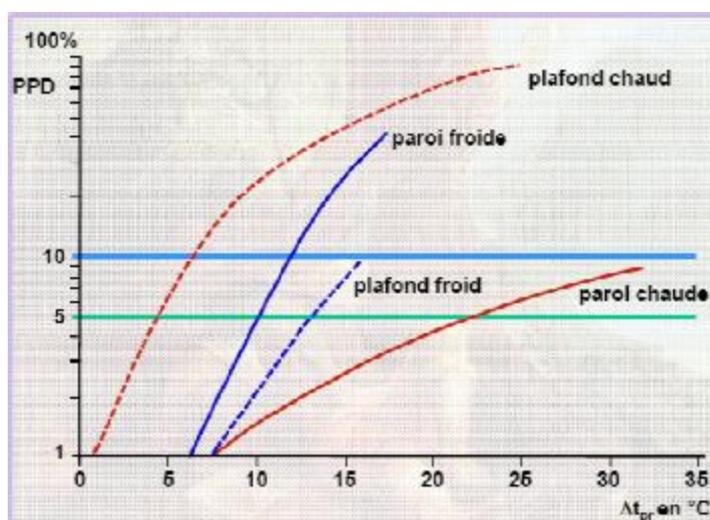


Fig. 6 - Asymétrie de la température rayonnante et insatisfaction [24].

## 2.3. Paramètres liés à l'individu

### 2.3.1. L'ambiance thermique

L'exposition au froid ou à la chaleur peut être à l'origine de troubles chez l'individu. En effet la température de l'homme doit demeurer constante (homéothermie) quelle que soit son ambiance thermique. Ce dernier fait appel à plusieurs facteurs, on peut citer: les facteurs énergétiques (le

rayonnement solaire, lumière), les facteurs hydrauliques (la précipitation) et les facteurs mécaniques (mouvement de l'air) [25].

### **2.3.1.1. Les différentes notions d'ambiance thermique**

Dans les locaux de travail et de vie, on peut avoir trois types d'ambiances thermiques :  
Ambiance thermique neutre, froide ou bien chaude.

#### **2.3.1.1.1. Ambiance thermique neutre**

Le flux de chaleur est évacué par la convection et le rayonnement, à l'exclusion de toute vapeur sudorale. Selon Marc-Alexandre **Millanoye**, les valeurs d'ambiances thermiques neutres sont [25] :

##### **-Température sèche :**

Travail sédentaire : 20° - 21°C

Travail physique modéré : 17° - 18°C

Travail physique intense : 15°C

##### **- Pourcentage d'humidité : 50 à 60 %**

Si la température s'élève ou le travail musculaire augmente, diminuer le pourcentage d'humidité.

##### **- Vitesse de l'air :** Pour un travail sédentaire : 0,1 à 0,25 m/s

Pour un travail physique : jusqu'à 10 m/s, cette vitesse dépendant des autres paramètres du bilan thermique [25].

##### **. Température du sol**

La température du sol est plus ressentie au travers des chaussures légères « Les limites pour les températures du sol sont comprises entre 19 et 29°C. La température du sol dans les pièces prévues pour des séjours prolongés ne doit pas excéder 26°C » [29].

#### **2.3.1.1.2. Ambiance thermique froide**

L'évaluation de l'astreinte physiologique en ambiance froide repose, pour l'essentiel, sur l'évaluation par le sujet lui-même de l'inconfort lié à la température des surfaces cutanées ( $T_{\text{froid}} > 17^{\circ}\text{C}$ ).

Les flux convectifs et radiatifs font à eux seuls perdre plus de chaleur que n'en produit le métabolisme énergétique.

L'organisme perd de la chaleur, ce qui a pour conséquence un refroidissement ou une mise en jeu des mécanismes de lutte contre le froid [18].

#### **2.3.1.1.3. Ambiance thermique chaude**

Lorsque les flux convectifs et radiatifs sont insuffisants pour évacuer le métabolisme énergétique, l'organisme met en route l'évaporation de la sueur.

Pour ces deux dernières ambiances, tant que les mécanismes physiologiques de lutte sont suffisants pour assurer un nouvel équilibre thermique, nous parlerons d'ambiance tolérable.

Lorsque ces mécanismes sont saturés, l'équilibre ne peut être plus assuré, c'est pourquoi il est indispensable de déterminer des durées limites d'exposition [18].

#### 2.4. Paramètres liés aux gains thermiques internes

Avec l'essor de la technologie et des besoins électriques (éclairage, électroménager,...), les apports de chaleur internes ont fortement augmenté. Les appareils électriques transforment en effet quasiment toute l'énergie qu'ils consomment en chaleur, Les postes informatiques sont également de vraies sources de chaleur et les occupants constituent eux aussi une autre source d'apports internes par leur métabolisme.

Les apports internes comprennent donc, toute quantité de chaleur générée dans l'espace par des sources internes autres que le système de chauffage.

Ces gains de chaleur dépendent du type du bâtiment, du nombre des utilisateurs et de son usage. D'après Hugues Boivin [25].

Le confort de l'espace est directement influencé par le taux de ces gains internes (figure 07), on peut dire que ces apports sont inévitables dès lors que les locaux sont habités. Il faut noter cependant que ces apports sont variables selon le comportement des occupants, et qu'ils constituent donc un facteur d'aggravation de l'inconfort chaud, sur lequel les moyens d'action architecturaux sont limités. Seuls, une bonne ventilation et un comportement adéquat de l'occupant peuvent réduire ces apports ou leur influence sur la température intérieure [26].

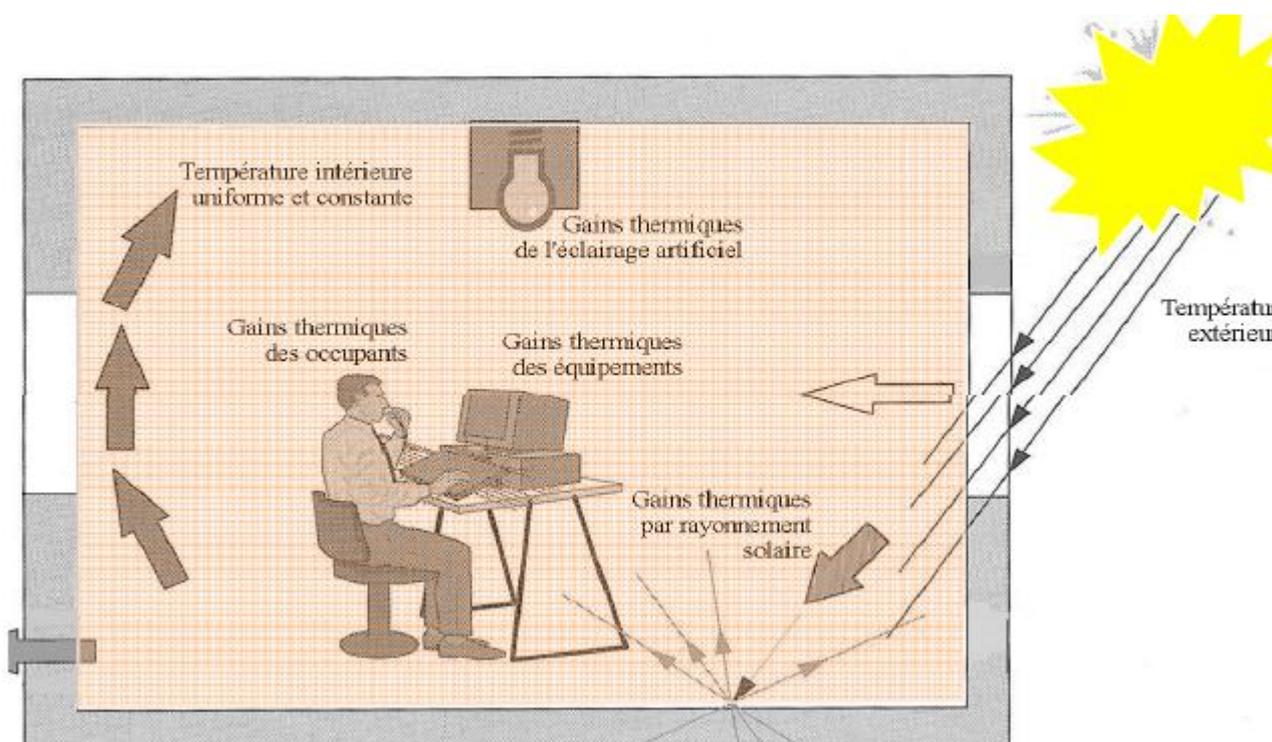


Fig.7- Gains thermiques internes d'un espace [17].

## **2.5. Les approches du confort thermique**

### **2.5.1. Approche statique du confort thermique**

L'approche statique envisage l'individu en tant que récepteur passif des excitations thermiques avec l'environnement extérieur. Le principe de cette approche repose sur le fait que les effets thermiques d'une ambiance sont ressentis au niveau de la peau par des phénomènes de transfert de chaleur (conduction, convection, rayonnement...) et de masse (perspiration, transpiration...). Ces échanges sont conditionnés par des réponses physiologiques nécessaires pour maintenir la température intérieure du corps humain autour de 37° C malgré les variations des paramètres d'ambiance [41].

### **2.5.2. L'approche adaptative du confort thermique**

L'approche adaptative considère que les personnes ne sont pas passives vis-à-vis de leur environnement intérieur, mais jouent un rôle actif dans le maintien de leur confort thermique, c'est-à-dire que l'homme peut agir sur son environnement en fonction de ses besoins et de sa perception du climat [42].

## **2.6. Facteurs d'inconfort thermique**

Malgré la réalisation d'un confort thermique global, des zones d'inconforts sont susceptibles d'être observées dans les bâtiments. Un environnement thermique inégal peut être la source d'inconfort pour certaines parties du corps. L'insatisfaction thermique peut être causée par un inconfort, causée par un refroidissement ou un réchauffement non désiré d'une partie du corps (tête, pieds, ou mains), par exemple, un courant d'air [27].

Un inconfort local peut également être dû à des différences de températures anormalement élevées entre la tête et la cheville, avec un sol trop chaud ou trop froid, ou à une asymétrie de rayonnement thermique. Ainsi, le confort thermique peut être affecté par plusieurs facteurs, citons<sup>38</sup> : Le courant d'air local, l'asymétrie de la température de rayonnement, la différence verticale de la température de l'air et la température des planchers [27].

## **2.7. Évaluation du confort thermique**

L'évaluation du confort thermique dans les espaces est un paramètre capital dans toute conception architecturale. Les premières recherches se sont basées sur les enquêtes de terrain avec des questionnaires en classifiant la sensation thermique (très chaud, neutre et très froid) ainsi que sur les essais de laboratoires sous des conditions climatiques artificielles.

Cette évaluation a conduit plusieurs chercheurs à développer et à élaborer des indices de prédiction des niveaux de confort à l'intérieur des bâtiments, En plus des indices thermiques, des tentatives ont été effectuées pour combiner les facteurs environnementaux sous forme d'outils graphiques qui permettent de prédire des zones de confort, connus sous le nom de diagrammes bioclimatiques, ils sont l'aboutissement direct de la connaissance du climat, ces outils sont

également développés pour permettre d'obtenir de bâtiments confortables, adaptés aux variables climatiques [27].

## 2.8. Les outils graphiques d'évaluation du confort thermique

En plus des indices thermiques, diverses recherches ont été entamées pour connaître les limites du confort thermique sous forme diagrammes bioclimatiques. En 1953 le premier « diagramme bioclimatique » a été proposé par V. Olgay. Il était le premier à mettre au point une procédure qui est basée sur un diagramme bioclimatique ou il détermine une zone de confort avec des plages d'été et d'hiver et les mesures de correction dans le cas où la combinaison entre l'humidité et la température se situe hors la zone de confort. Aussi les tables de Mahoney qui sont une série de tableaux de référence d'architecture, sont utilisées comme guide pour obtenir des bâtiments confortables, adaptés aux conditions climatiques [27].

### 2.8.1. Définition du diagramme bioclimatique

Le diagramme bioclimatique est un outil d'aide à la décision globale du projet permettant d'établir le degré de nécessité de mise en œuvre de grandes options telles que l'inertie thermique, la ventilation généralisée, le refroidissement évaporatif, puis le chauffage ou la climatisation, il est construit sur un diagramme psychrométrique (appelé aussi diagramme de l'air humide)(figure08) [28].

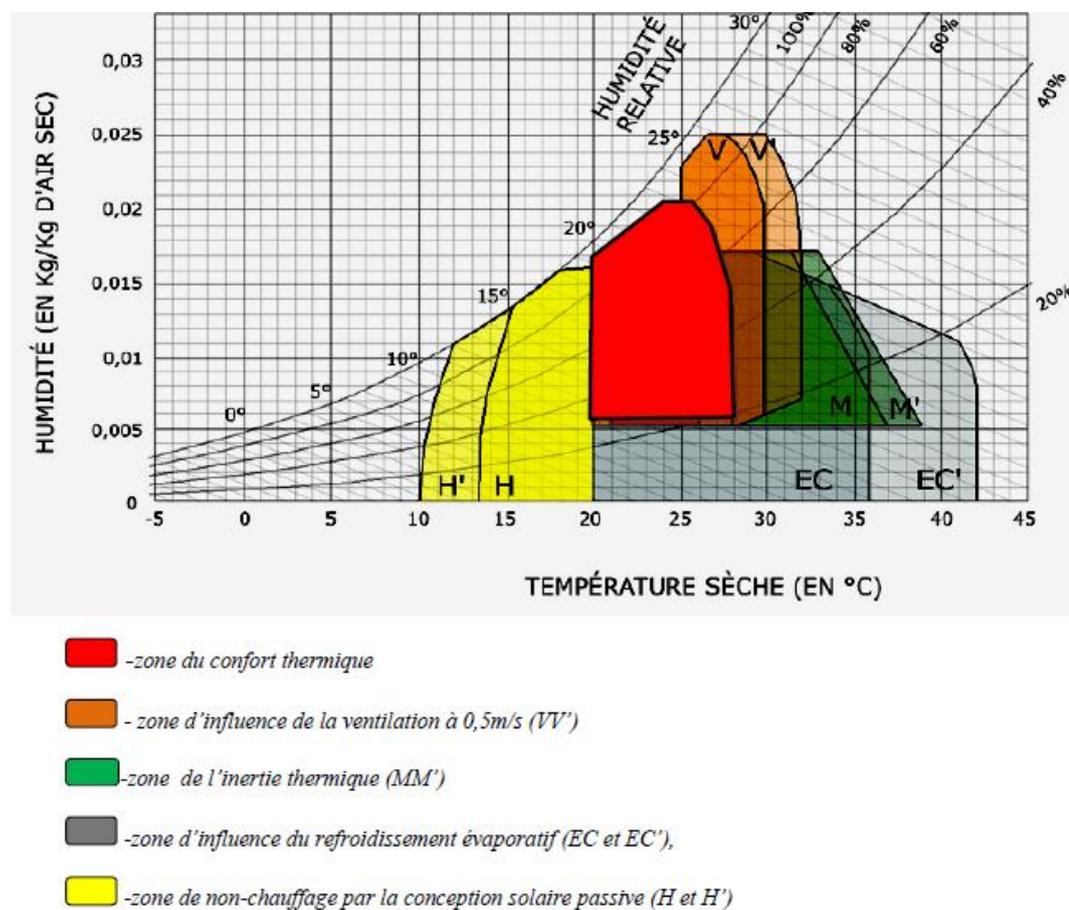


Fig. 8- Diagramme bioclimatique [28].

## 2.9. Les paramètres liés au cadre bâti

### 2.9.1. L'implantation

Le site d'implantation d'un bâtiment a une grande influence sur son rapport au soleil et aux vents dominants. Réussir l'implantation du bâtiment revient à exploiter le potentiel du site et à analyser l'interaction entre le projet et les éléments qui composent son environnement, comme le relief, le contexte urbain, le type de terrain, la végétation et le vent...etc. [31].

### 2.9.2. L'orientation

L'orientation affecte les conditions thermiques intérieures de deux manières et par l'influence de deux facteurs climatiques distincts qui sont : le rayonnement solaire et la ventilation [32].

#### 2.9.2.1. L'orientation par rapport au rayonnement solaire

Toute construction ne tenant pas compte de la position du soleil consomme de grandes quantités d'énergie pour son chauffage en hiver et sa réfrigération en été. Au moment de la conception d'un bâtiment, il est alors utile de faciliter la pénétration du rayonnement solaire à l'intérieur des pièces à chauffer en hiver à l'inverse de l'été où ce rayonnement est à éviter [32].

- **OUEST** : Cotes d'intempérie ; grand ensoleillement l'après-midi avec forte chaleur et éblouissement [32].
- **SUD** : Soleil de midi au zénith en été, ensoleillement profond l'hiver [32].
- **EST** : Ensoleillement profond le matin chaleur agréable en été très grand refroidissement en hiver [32].
- **NORD** : peu de soleil vents d'hiver lumière uniforme l'orientation nord est à éviter sauf pour les zones climatiques à forte insolation. Des dispositions de protections solaires sont à prévoir en été pour les basses latitudes [32].

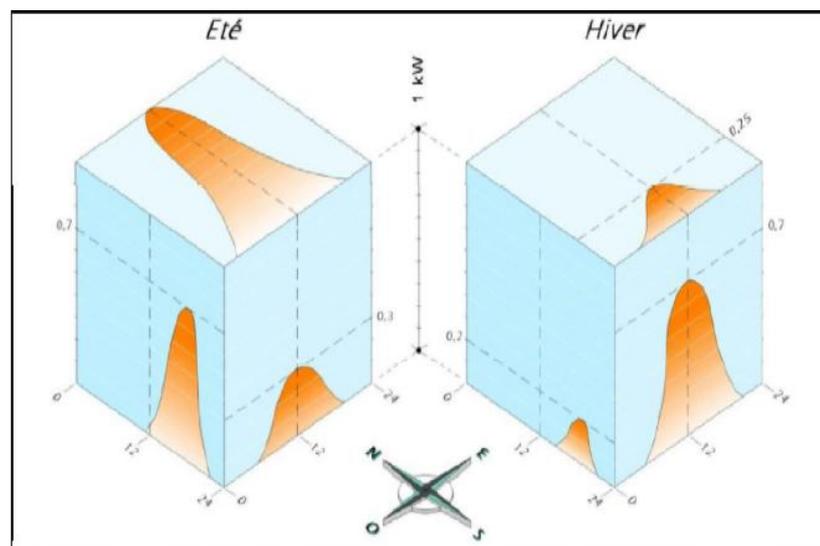


Fig.9- Répartition des puissances reçues du soleil, selon les différentes orientations [33].

### 2.9.2.2. L'orientation par rapport au vent :

L'appréciation et la connaissance du comportement du vent importantes pour sa prise en compte dans la conception des plans de masse les exigences du confort peuvent amener à s'ouvrir au vent ou à s'en protéger selon la période [34].

### 2.9.2.3. La forme architecturale :

La meilleure forme est celle qui permet de perdre un minimum de chaleur en hiver et d'en gagner un minimum en été. La forme allongée dans la direction est-ouest est la forme optimale générale donnant les meilleurs résultats d'ensoleillement dans chaque cas et pour toutes les zones climatiques d'hiver. Les façades Est et Ouest recevant le plus fort ensoleillement en été et difficiles à protéger ont tout intérêt à être minimisées. La forme compacte convient mieux car elle réduit la surface exposée avec l'environnement Extérieur [34].

## 2.10. Caractéristiques climatologiques de la région de Tissemsilt

La ville de Tissemsilt bénéficie d'un climat tempéré chaud. L'été, à Tissemsilt, les pluies sont moins importantes qu'elles ne le sont en hiver. La classification de Köppen-Geiger est de type Csa. En moyenne la température à Tissemsilt est de 14.6 °C. Sur l'année, la précipitation moyenne est de 433 mm. [35]

### 2.10.1. La température :

La température varie de 19.6 °C. Le mois le plus chaud de l'année est celui de Juillet avec une température moyenne de 25.6 °C. 6.0 °C font du mois de Janvier le plus froid de l'année. La différence de précipitations entre le mois le plus sec et le mois le plus humide est de 54 mm. Sur l'année, la température varie de 19.6 °C [35].

**Tableau 3- les températures des mois ou cour de l'année dans la région de Tissemsilt [35].**

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Température moyenne (°C)	6	6.7	9.2	11.8	16	21	25.6	25.6	21.4	15.6	10.3	6.3
Température minimale moyenne (°C)	2.2	2.7	4.9	7.5	11.1	15.7	19.8	20	16.3	11	6.2	2.9
Température maximale (°C)	9.8	10.8	13.5	16.1	21	26.3	31.5	31.3	26.5	20.2	14.4	9.8

Le tableau ci-dessous donne l'évolution journalière de la température ambiante dans le mois de janvier 2017 pour la saison d'hiver.

**Tableau 4- Evolution journalière de la température ambiante au mois de janvier 2017 dans la saison d'hiver pour la région de Tissemsilt [36].**

<b>Numéro du jour</b>	<b>T<sub>max</sub></b>	<b>T<sub>moy</sub></b>	<b>T<sub>min</sub></b>
01	12	5	1
02	14	5	1
03	15	6	-1
04	15	7	3
05	12	7	-1
06	11	4	-2
07	12	5	0
08	11	6	1
09	11	5	1
10	8	5	1
11	9	5	2
12	9	5	2
13	11	6	3
14	9	6	0
15	6	3	0
16	6	2	0
17	7	3	-1
18	6	2	-2
19	8	1	-2
20	8	5	0
21	6	4	2
22	5	4	3
23	6	5	3
24	6	4	4
25	8	5	2
26	12	7	1
27	14	8	4
28	12	6	4
29	9	5	3
30	12	6	2
31	14	8	2

Le tableau ci-dessous donne l'évolution journalière de la température ambiante dans le mois de juillet 2017 pour la saison d'été.

**Tableau 5-Evolution journalière de la température ambiante au mois de juillet 2017 pour la saison d'été dans la région de Tissemsilt [36]**

Numéro du jour	T <sub>max</sub>	T <sub>moy</sub>	T <sub>min</sub>
01	32	26	8
02	32	28	9
03	32	32	17
04	37	32	15
05	38	33	18
06	37	33	21
07	39	33	19
08	36	33	19
09	35	33	15
10	40	33	17
11	41	33	20
12	41	34	24
13	41	34	22
14	41	34	22
15	38	34	21
17	37	34	18
18	36	34	17
19	38	35	18
20	35	33	21
21	35	35	20
22	40	35	21
23	41	35	22
24	35	35	22
25	36	35	19
26	36	33	15
27	36	35	17
28	41	35	19
29	38	36	21
30	39	35	22
31	42	35	22

### 2.10.2. Le vent

Cette section traite du vecteur vent moyen horaire étendu (vitesse et direction) à 10 mètres au-dessus du sol. Le vent observé à un emplacement donné dépend fortement de la topographie locale et d'autres facteurs, et la vitesse et la direction du vent instantané varient plus que la moyenne horaire. [37]

La vitesse horaire moyenne du vent à Tissemsilt connaît une variation saisonnière modérée au cours de l'année. La période la plus venteuse de l'année dure 6,4 mois, du 31 octobre au 11 mai, avec des vitesses de vent moyennes supérieures à 13,8 kilomètres par heure. Le jour le plus venteux de l'année est le 21 février, avec une vitesse moyenne du vent de 15,7 kilomètres par heure. La période la plus calme de l'année dure 5,6 mois, du 11 mai au 31 octobre. Le jour le plus calme de l'année est le 7 août, avec une vitesse moyenne horaire du vent de 12,0 kilomètres par heure [37].

La direction horaire moyenne principale du vent à Tissemsilt varie au cours de l'année. Le vent vient le plus souvent du nord pendant 4,3 semaines, du 9 juillet *au* 8 août, avec un pourcentage maximal de 34 % le 23 juillet. Le vent vient le plus souvent de l'ouest *pendant* 11 mois, du 8 août *au* 9 juillet, avec un pourcentage maximal de 50 % le 1 janvier [37].

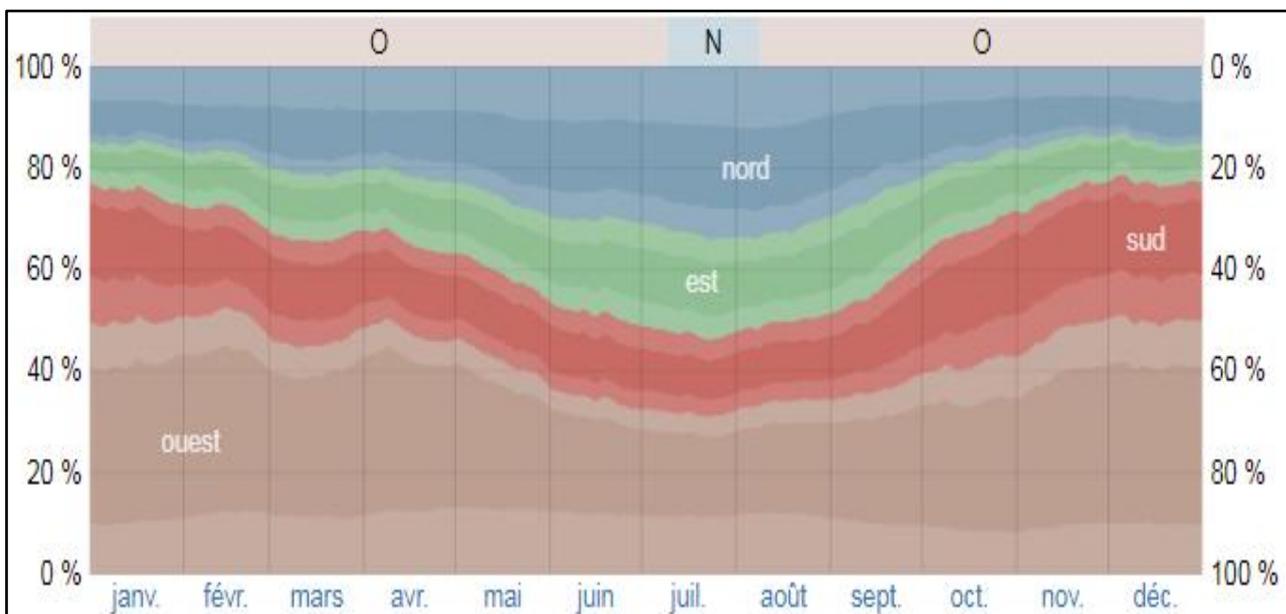


Fig. 10 - Direction du vent à la région de Tissemsilt [37].

La vitesse moyenne du vent a la région de Tissemsilt :

Tableau 6- vitesse du vent moyenne pour chaque mois dans la région de Tissemsilt [37]

Mois	Vitesse (km/h)	Vitesse (m/s)
Janvier	9	2,50
Février	10,8	3,00
Mars	10,4	2,89
Avril	10,4	2,89
Mai	10,1	2,81
Juin	9,7	2,69
Juillet	9,4	2,61
Aout	9	2,50
Septembre	8,3	2,31
Octobre	8,6	2,39
Novembre	9,4	2,61
Décembre	9,7	2,69

### 2.10.3. L'humidité

Le niveau d'humidité perçu à Tissemsilt, tel que mesuré par le pourcentage de temps durant lequel le niveau d'humidité est *lourd*, *oppressant* ou *étouffant*, ne varie pas beaucoup au cours de l'année, se maintenant à 1 % de 1 % [37].

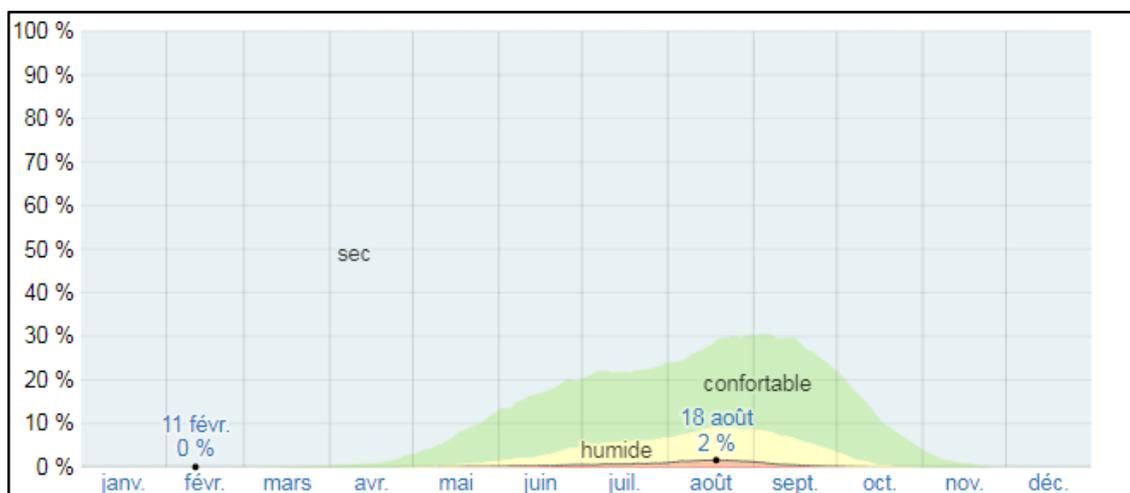


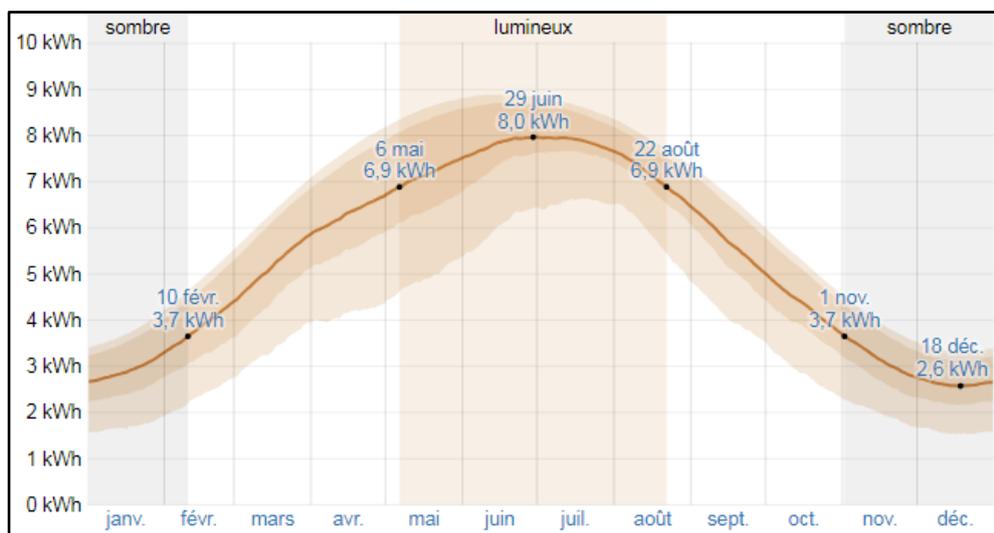
Fig. 11- Niveaux de confort selon l'humidité à Tissemsilt [37]

### 2.10.4. Rayonnement solaire

Les rayonnement solaire incident en ondes courtes quotidien total atteignant la surface du sol sur une zone étendue, en tenant pleinement compte des variations saisonnières sur la longueur du jour, de la hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon, de l'absorption par les nuages et d'autres composantes atmosphériques. Le rayonnement en ondes courtes inclut la lumière visible et le rayonnement ultraviolet. [37]

La période la plus lumineuse de l'année dure 3,5 mois, du 6 mai au 22 août, avec un rayonnement solaire incident en ondes courtes par mètre carré supérieur à 6,9 kWh. Le jour le plus lumineux de l'année est le 29 juin, avec une moyenne de 8,0 kWh. [37]

La période la plus sombre de l'année dure 3,3 mois, du 1 novembre au 10 février, avec un rayonnement solaire incident en ondes courtes par mètre carré inférieur à 3,7 kWh. Le jour le plus sombre de l'année est le 18 décembre, avec une moyenne de 2,6 kWh. [37]



**Fig.12- Rayonnement solaire incident en ondes courtes quotidien moyen dans la région de Tissemsilt [37].**

Les tableaux suivant représente le rayonnent solaire global, diffuse, réfléchif et direct dans la région de Tissemsilt.

**Tableau 7- Irradiation solaire global dans la région de Tissemsilt [38].**

Mois	Radiation solaire (MJ/m <sup>2</sup> )	Radiation solaire (kWh/m <sup>2</sup> )
Janvier	9,3	2,58
Février	12,5	3,47
Mars	16,9	4,69
Avril	20,9	5,81
Mai	23,4	6,50

<b>Juin</b>	26,1	<b>7,25</b>
<b>Juillet</b>	26,1	<b>7,25</b>
<b>Aout</b>	23,4	<b>6,50</b>
<b>Septembre</b>	19,2	<b>5,33</b>
<b>Octobre</b>	13,8	<b>3,83</b>
<b>Novembre</b>	9,7	<b>2,69</b>
<b>Décembre</b>	8	<b>2,22</b>

**Tableau 8-Irradiation solaire diffuse dans la région de Tissemsilt [38].**

<b>Mois</b>	<b>Radiation solaire (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Radiation solaire (kWh/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Janvier</b>	3,4	<b>0,94</b>
<b>Février</b>	4,5	<b>1,25</b>
<b>Mars</b>	5,9	<b>1,64</b>
<b>Avril</b>	7,1	<b>1,97</b>
<b>Mai</b>	8,6	<b>2,39</b>
<b>Juin</b>	8,3	<b>2,31</b>
<b>Juillet</b>	7,7	<b>2,14</b>
<b>Aout</b>	7,1	<b>1,97</b>
<b>Septembre</b>	5,7	<b>1,58</b>
<b>Octobre</b>	4,8	<b>1,33</b>
<b>Novembre</b>	3,6	<b>1,00</b>
<b>Décembre</b>	3,1	<b>0,86</b>

**Tableau 9 - Irradiation solaire réfléchif dans la région de Tissemsilt [38].**

<b>Mois</b>	<b>Radiation solaire (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Radiation solaire (kWh/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Janvier</b>	19,4	<b>5,39</b>
<b>Février</b>	22,7	<b>6,31</b>
<b>Mars</b>	25,7	<b>7,14</b>
<b>Avril</b>	25,5	<b>7,08</b>
<b>Mai</b>	23,3	<b>6,47</b>
<b>Juin</b>	24,5	<b>6,81</b>

<b>Juillet</b>	24,9	<b>6,92</b>
<b>Aout</b>	24,9	<b>6,92</b>
<b>Septembre</b>	23,6	<b>6,56</b>
<b>Octobre</b>	21,5	<b>5,97</b>
<b>Novembre</b>	17,3	<b>4,81</b>
<b>Décembre</b>	15,3	<b>4,25</b>

**Tableau 10 - la radiation solaire direct dans la région de Tissemsilt. [38]**

<b>Mois</b>	<b>Radiation solaire (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Radiation solaire (kWh/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Janvier</b>	23,4	<b>6,50</b>
<b>Février</b>	28,3	<b>7,86</b>
<b>Mars</b>	31,1	<b>8,64</b>
<b>Avril</b>	31,8	<b>8,83</b>
<b>Mai</b>	28,5	<b>7,92</b>
<b>Juin</b>	32,8	<b>9,11</b>
<b>Juillet</b>	33,3	<b>9,25</b>
<b>Aout</b>	31,4	<b>8,72</b>
<b>Septembre</b>	27,8	<b>7,72</b>
<b>Octobre</b>	24,3	<b>6,75</b>
<b>Novembre</b>	19,9	<b>5,53</b>
<b>Décembre</b>	17,3	<b>4,81</b>

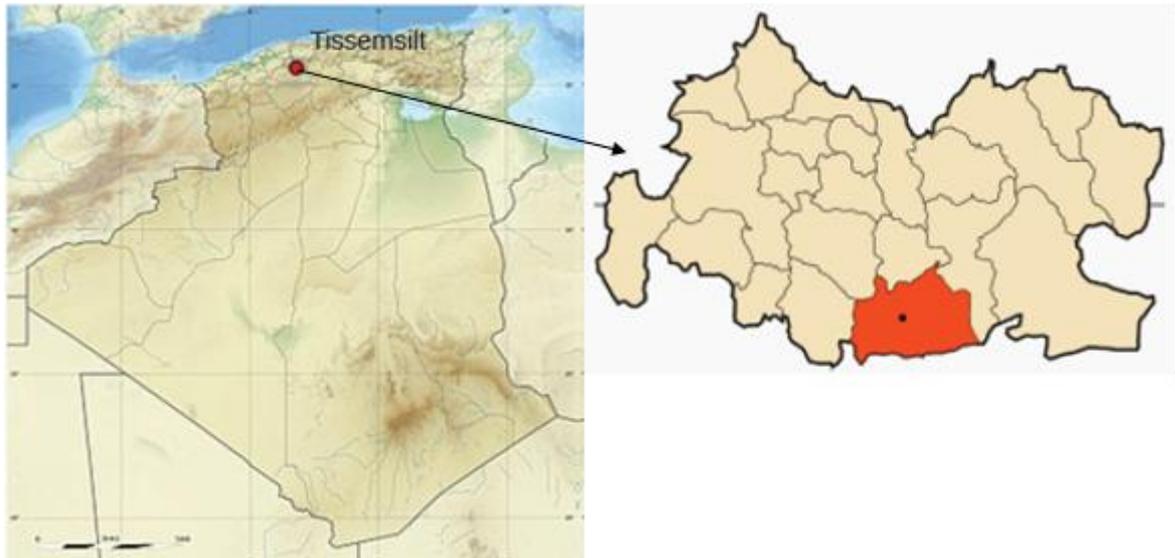
### **2.10.5. Coordonnée géométrique de la région de Tissemsilt**

Les coordonnées géographiques de la région de Tissemsilt sont 35,607° pour latitude, 1,811° pour longitude et 872 m pour altitude [39].

La topographie dans les 3 kilomètres entourant Tissemsilt ne présente que des variations légères de l'altitude, avec une variation maximum de l'altitude de 130 mètres et une

altitude moyenne au-dessus du niveau de la mer de 888 mètres. Dans les 16km, légères variations de l'altitude uniquement (524 mètres). Dans les 80 kilomètres, variations très importantes de l'altitude (1 888 mètres).

#### 2.10.6. Situation géographique de la région de Tissemsilt



**Fig.13 - Géo localisation sur la carte : Algérie [40].**

Tissemsilt est située à 245 km au Sud-ouest d'Alger, au niveau de la partie septentrionale du plateau du Sersou [40].

#### 2.11. Conclusion :

A fin de ce chapitre on conclut l'importance de confort thermique comme un facteur pour atteindre de l'équilibre thermique entre le corps humain et son environnement. Nous savions de ce qui précède les paramètres influent le confort thermique (température de l'air, l'humidité, la vitesse de l'aire... etc.).

# **Chapitre N°03**

*État de l'Art et Formulation*

*Mathématique*

### 3.1.Introduction

Le soleil est la source essentielle de tout rayonnement reçu par la terre, ce dernier lui procure l'énergie, la chaleur et la lumière qui sont nécessaires à toute forme de vie. La connaissance de la trajectoire du soleil et sa position en chaque point du ciel et la distance terre –soleil sont nécessaires quant à la détermination de la quantité du rayonnement extraterrestre et la durée du jour [43].

Dans ce chapitre, nous abordons quelques équations fondamentales et base de calcul de rayonnement solaire. On va essayer de comprendre performance énergétique d'un bâtiment, les méthodes de modalisation énergétique de bâtiment et le calcul du bilan énergétique d'un bâtiment.

### 3.2. Rayonnement solaire : bases de calcul et équations fondamentales

#### 3.2.1. Mouvements de la terre

La trajectoire de la terre autour du soleil est légèrement elliptique, ayant le soleil pour foyer et dont le rayon moyen est de  $149,6.10^6$  km avec une variation de presque 1,7% au cours de l'année du fait de la légère excentricité de l'orbite terrestre, l'axe de rotation de la terre sur elle-même est incliné de  $23^{\circ}27'$  par rapport au plan de l'écliptique (plan de l'orbite terrestre) [44].

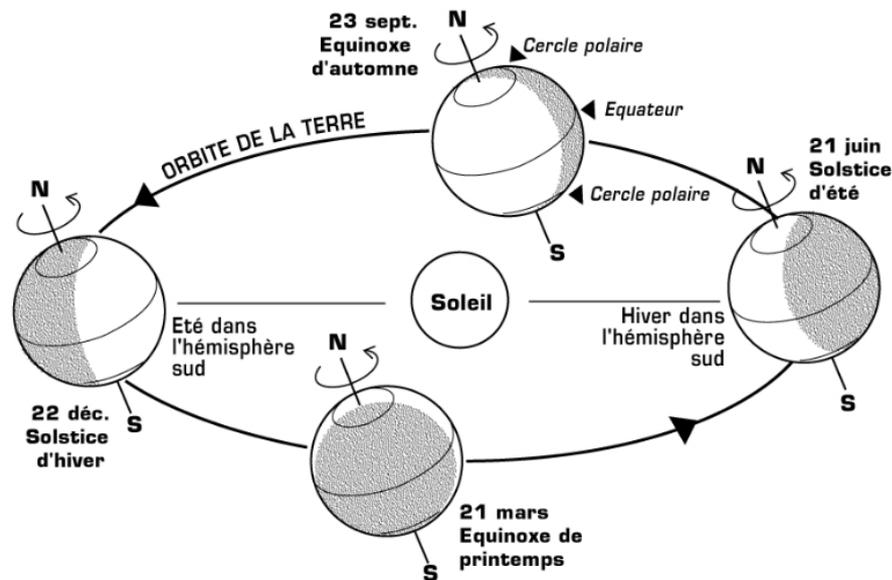


Fig.14- Mouvements de la Terre autour du soleil [45].

La déclinaison solaire est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur le plan équatorial. Elle varie entre  $23^{\circ}27'$  au solstice d'été (le 21 Juin) et  $-23^{\circ}27'$  au solstice d'hiver (le 21 Décembre) [44].

$$\delta = (0.006918 - 0.399912 \cos(\Gamma) + 0.070257 \sin(\Gamma) - 0.006758 \cos(2\Gamma) + 0.000907 \sin(2\Gamma) - 0.002697 \cos(3\Gamma) + 0.00148 \sin(3\Gamma)) (180/\pi) \quad (2-1)$$

Avec :

$\Gamma$ : l'angle du jour en radians.

En exprimant tous les angles en degrés, on trouve l'équation de Cooper qui est donnée par [36] :

$$\delta = 23.45^\circ \sin (0,980^\circ (j + 284)) \quad (2-2)$$

Avec :

$j$  : le numéro du jour dans l'année (par exemple : 31 Mars = 90)

On a aussi l'équation proposée par Marc Perrin de Brichambaut

$$\Delta = \sin^{-1} (0.4 \sin (360/365 (j - 82)^\circ)) \text{ (degré)} \quad (2-3)$$

### 3.3. Apparent du soleil

Pour un observateur terrestre, le soleil décrit un cercle autour de l'axe de rotation de la terre (Fig.02). Le repérage du soleil s'effectue donc par l'intermédiaire de deux angles [46]:

- **L'azimut  $a$**  : c'est l'angle que fait la direction de la projection du soleil sur le plan horizontal avec la direction Sud, cet angle étant orienté positivement vers l'Ouest [44].

- **La hauteur  $h$  du soleil**: c'est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur un plan horizontal [12].

Les expressions de la hauteur du soleil et l'azimut sont données par [44] :

$$\sin (h) = \sin (L) * \sin (\delta) + \cos (L) * \cos (\delta) * \cos(\omega) \quad (2-4)$$

$$\sin (a) = (\cos(\delta) * \sin(\omega)) / (\cos(h)) \quad (2-5)$$

#### - L'angle horaire

Est défini par

$$\omega = 15^\circ (TS - 12) \quad (2-6)$$

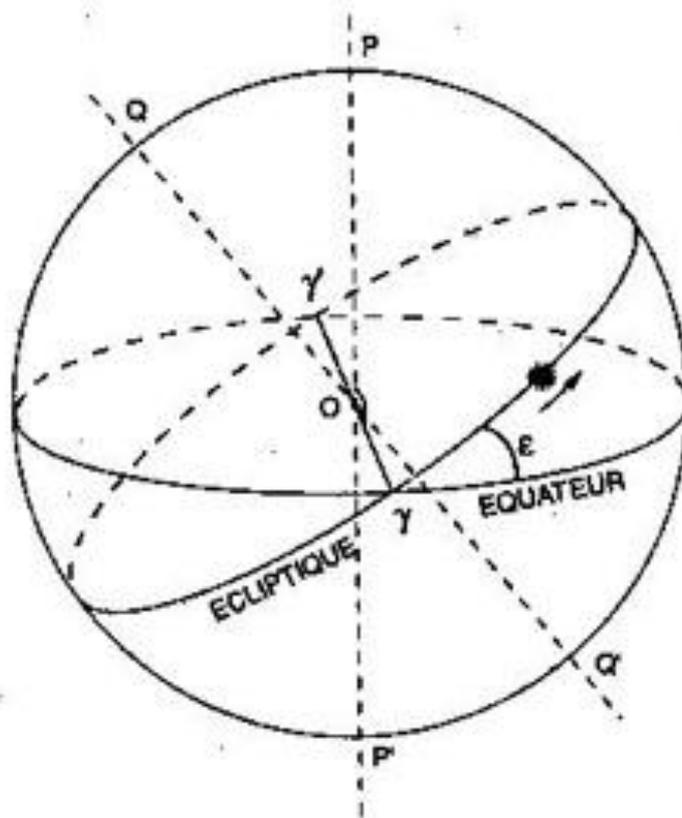


Fig.15 - Trajectoire apparente du Soleil [48].

### 3.4. Heures et temps

#### 3.4.1. Durée astronomique du jour

La durée du jour est, évidemment, déterminée par l'intervalle de temps qui sépare le lever et le coucher du soleil. Or, cet intervalle de temps dépend de la latitude du lieu envisagé, ainsi que du jour de l'année. [49]

On peut définir la durée astronomique du jour (ou la durée d'ensoleillement) comme étant la période de temps séparant les évènements où le soleil est à l'horizon, c'est-à-dire que sa hauteur est nulle [44].

Au lever et au coucher du soleil :  $h = 0$ , à partir de l'équation (2-4) on trouve :

$$\cos(\omega l) = -\tan(\varphi) \cdot \tan(\delta) \quad (\text{Degrés})(2-7)$$

L'heure solaire au lever du soleil a donc pour valeur :

$$TSl = 12 - \left(\frac{\omega l}{15}\right)(2-8)$$

L'angle horaire  $\omega c$  au coucher du Soleil est l'opposé de l'angle horaire à son lever, nous avons donc  $\omega c = -\omega l$  et la durée du jour vaut :

$$d = \left(\frac{2\omega l}{15}\right)(2-9)$$

#### 3.4.2. Degré jour

Il sert à évaluer les besoins en énergie pour le chauffage ou la climatisation. Les cumuls de degrés jour s'obtiennent de façon simple en additionnant les degrés jour quotidiens, sur la période de cumul souhaitée : semaine, mois ou période quelconque.

Si on considère par exemple 18 °C comme température de base en hiver, on pourra alors écrire :

$$\text{Degréjour} = 18 - T_{\text{moyenne}} \quad (2-12)$$

On utilise les degrés-jours-unifiés (DJU) pour calculer les consommations de chauffage d'une année sur l'autre ce qui permet de connaître le degré de sévérité d'un hiver dans un lieu donné et de réaliser des estimations de consommations d'énergie thermique en proportion de la rigueur de l'hiver. Les DJU sont additionnés sur une période de chauffe de 232 jours allant du 1<sup>er</sup> octobre au 20 mai. Les degrés-jours sont calculés à partir de relevés de températures extérieures établies par le service de la météo sous forme de bases de données annuelles ou trentenaires, généralement sur une base de 18 °C (d'où l'appellation DJU-base 18) :

$$DJU = DJU_{18} = \sum (18 - T_{moyenne}) \quad (2-13)$$

Lorsque la température moyenne du jour est supérieure ou égale à 18°C, l'écart est compté comme nul.

### 3.5. Soleil

Le soleil est une sphère gazeuse de 1, 392 9 10 m de diamètre ; c'est une étoile résultant de la condensation d'un nuage interstellaire sous l'effet de la gravité [45]. Ce type de nuage est essentiellement composé d'hydrogène, d'hélium, et dans une moindre mesure de carbone, d'azote et d'autres éléments [44]. Le noyau du Soleil (400.000 Km de diamètre) à une température de l'ordre de 15 .106 à 16. 106 K et agit comme un réacteur thermonucléaire. Les réactions de fusion nucléaire y transforment l'hydrogène en Hélium en libérant 4 109 kg/s d'énergie de masse selon la célèbre équation d'Einstein [46] :

$$E = m.c^2 \quad (2-14)$$

### 3.6. Rayonnement hors atmosphère-Constante solaire

La variation de la distance terre soleil conduit néanmoins à des variations d'éclairement de 6.7 % au bénéfice de l'hiver. On estime par ailleurs qu'entre les périodes calmes et les périodes de grandes éruptions solaires, la variation d'intensité ne dépasse pas 4 %. Le rayonnement solaire incident sur la surface de la terre appelé généralement insolation, est mesuré comme énergie par unité de temps et unité de surface (ou puissance par unité de surface). Les unités les plus communes sont le Watt par mètre carré (W/m<sup>2</sup>) [47].

La quantité de radiation solaire reçue sur une surface normale hors de l'atmosphère terrestre à la distance moyenne  $D_0$  entre la terre et le soleil est appelé constante solaire  $I_0$ . La constante solaire peut être calculée à partir de la température de surface du soleil. Celle-ci est estimée à  $T=5\ 780\ ^\circ\text{K}$  [46].

#### - Loi de Stephan

$$\sigma T^4 . 4\pi R_s^2 = I_0 4\pi D_0^2 \quad (2-15)$$

Avec :

$R_s$  : rayon du soleil ;  $D_0$  distance moyenne terre –Soleil d'où :

$$I_0 = \sigma \left( \frac{R_s}{D_0} \right)^2 . T^4 \quad (2-16)$$

La valeur de cette constante est 1366 W/m<sup>2</sup> (selon la norme ASTM E490-00a).

Mesurée par la NASA cette constante a pour valeur  $I_0=1367$  (W /m<sup>2</sup>) [47]

La valeur admise depuis 2008 est égale à 1 360,8 ± 0,5 W/m<sup>2</sup>.

### 3.7. Rayonnement solaire reçu par la terre

La distance terre soleil change durant l'année, le minimum 1.471011m au solstice d'hiver (21 décembre) et le maximum de 1.521 1011m au solstice d'été (21 juin) [46]. De ce fait, la quantité de rayonnement solaire  $I_{ex}$  interceptée par la terre varie dans l'année, le maximum est au solstice d'été, l'équation décrivant cette variation est [47]:

$$I_{ex} = I_0 \left( \frac{D}{D_0} \right)^2 \quad (2-17)$$

$$\left( \frac{D}{D_0} \right)^2 = 1,0011 + 0,034221 \cdot \cos(x) + 0,00128 \cdot \sin(x) + 0,000719 \cdot \cos(2x) + 0,000077 \cdot \sin(2x)$$

$$x = 360(n-1)/365 \quad n=1 \text{ pour le premier janvier} \quad (2-18)$$

La formule approximative suivante peut être utilisée sans introduire trop de pertes dans la précision des détails :

$$I_{ex} = I_0 \left( 1 + 0.034 \cos \left( \frac{360n}{365.25} \right) \right) \quad (2-19)$$

### 3.8. Repérage d'un point sur la surface de la terre

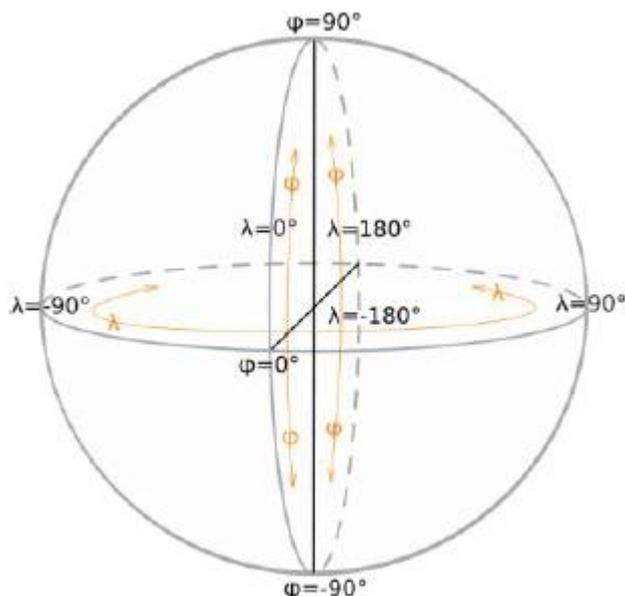
Un point à la surface de la terre est repéré par deux coordonnées angulaires, la latitude et la longitude [50].

#### 3.8.1. La longitude

La longitude ( $\lambda$ ) mesure de l'angle entre le méridien du lieu et la méridienne origine des longitudes (Greenwich) Le méridien de Greenwich est un méridien où la longitude est définie comme égale à 0. Les lieux qui sont situés à l'Est sont comptés avec le signe +. Il y a vingt-trois méridiens séparés de 15° donnant naissance aux 24 fuseaux horaires [44].

#### 3.8.2. Latitude

La latitude ( $\varphi$ ) permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque par rapport à l'équateur. Elle varie de 0° à l'équateur à 90° au pôle Nord [37].



**Fig.16-Latitude. Longitude [51].**

### 3.9. Coordonnées horaires

Le déplacement des astres du fait du mouvement diurne rend intéressant l'utilisation des coordonnées horaires, qui est un système de coordonnées locales "mixtes", dans lequel les plans de référence sont l'équateur céleste et le plan méridien du lieu de l'observation. La position d'un objet sur la voûte céleste est définie par l'angle horaire et la déclinaison.

Notons que la sphère céleste est une sphère imaginaire d'un diamètre immense, qui admet pour centre la terre, et pour rayon la distance (Terre – Soleil). On considère que tous les objets visibles dans le ciel se trouvent sur la surface de la sphère céleste [51].

Les coordonnées horaires sont bien adaptées à la représentation du mouvement diurne ; mais leur mesure est moins précise que celle des coordonnées horizontales, la direction de la ligne des pôles étant plus difficile à déterminer avec précision que celle de la verticale [51].

### 3.10. Angle horaire

L'angle horaire est l'angle que fait le plan contenant le cercle horaire de l'astre (soleil) avec le plan contenant le méridien céleste. Il est compté sur l'équateur, positivement à l'ouest, négativement à l'est [51].

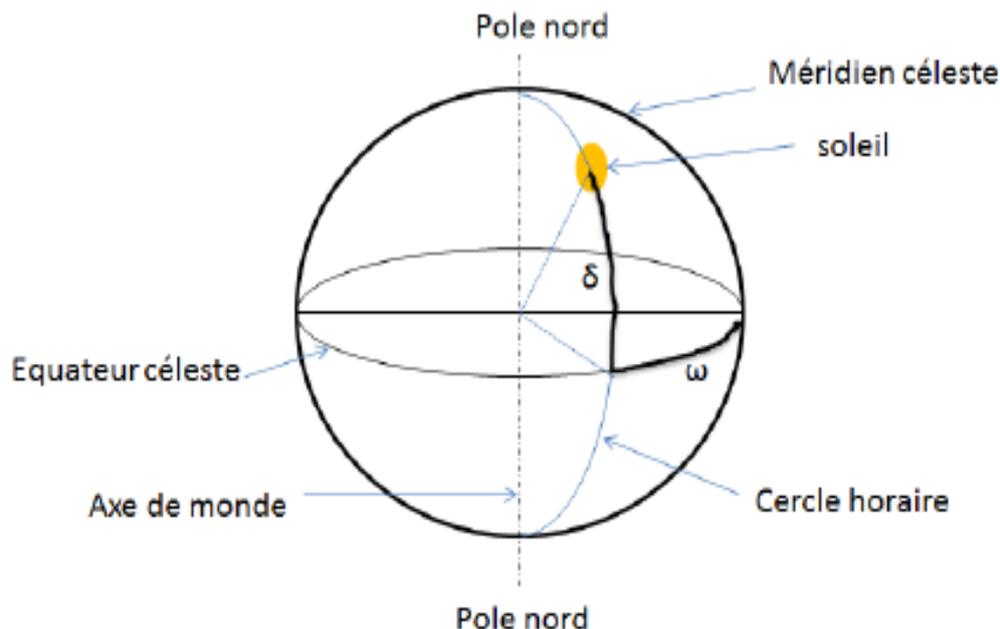


Fig.17 - Les coordonnées horaires [52].

### 3.11. Déclinaison solaire

La déclinaison solaire est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre. Cet angle varie au cours des saisons [47].

L'angle que fait le plan de l'équateur terrestre avec la direction Terre-soleil est appelé la déclinaison. Cet angle varie tout au long de l'année de façon symétrique de  $-23^{\circ}26'$  à  $+23^{\circ}26'$  (figure 18). [53]

La valeur de la déclinaison peut être obtenue avec une bonne précision par la formule suivante :

$$\delta = 23.45^{\circ} \cdot \sin 360 \cdot \frac{(284 + n)}{365}$$

Avec, n : numéro du jour.

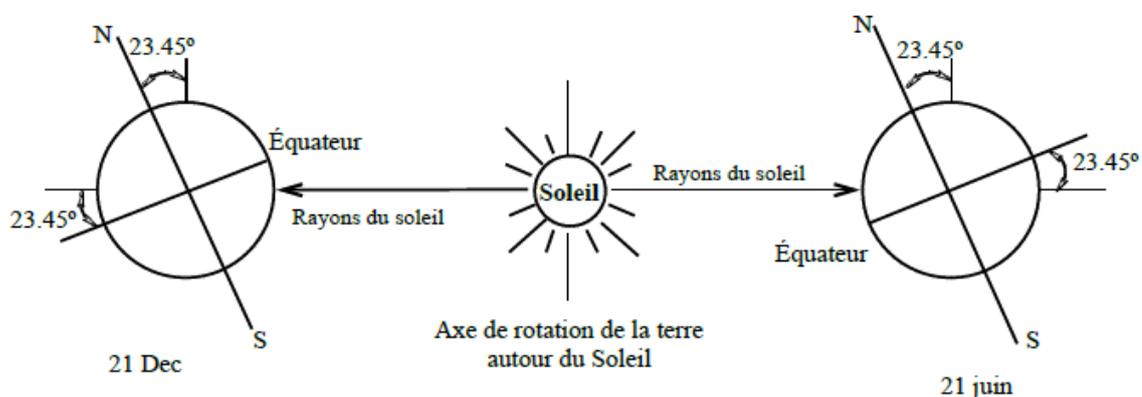


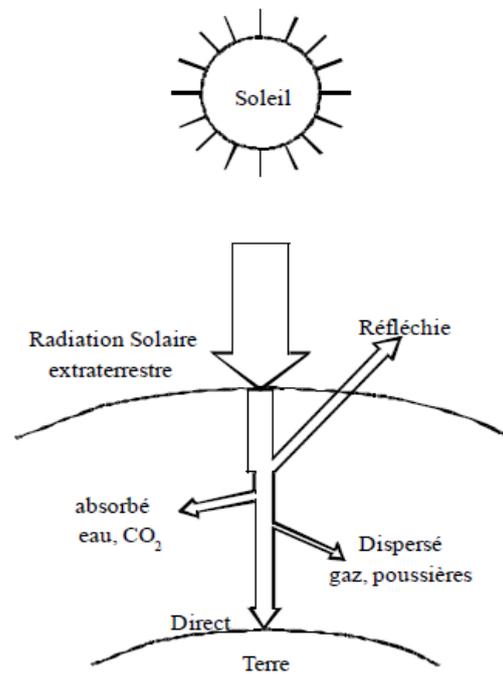
Fig.18- Déclinaison solaire [53].

### 3.12. Rayonnement solaire au sol

Le rayonnement solaire au sol a trois composantes: une composante directe  $I_b$  et une composante diffuse  $I_d$  et une composante réfléchie  $I_r$  [47].

### 3.12.1. Rayonnement direct $I_b$

C'est le rayonnement qui arrive directement du disque solaire au niveau du sol sans subir des modifications [54].



**Fig.19 - Rayonnement Direct.**

### 3.12.2. Rayonnement diffus $I_d$

C'est le rayonnement qui arrive au niveau au sol après avoir subi des collisions avec les constituants atmosphériques [47].

On en distingue :

- Le rayonnement diffus isentropique provenant de toute la voute céleste.
- Le rayonnement diffus circonférence provenant de la couronne solaire.
- Le rayonnement diffus horizon provient d'une mince bande d'horizon due à une accumulation d'aérosols dans les basses altitudes.

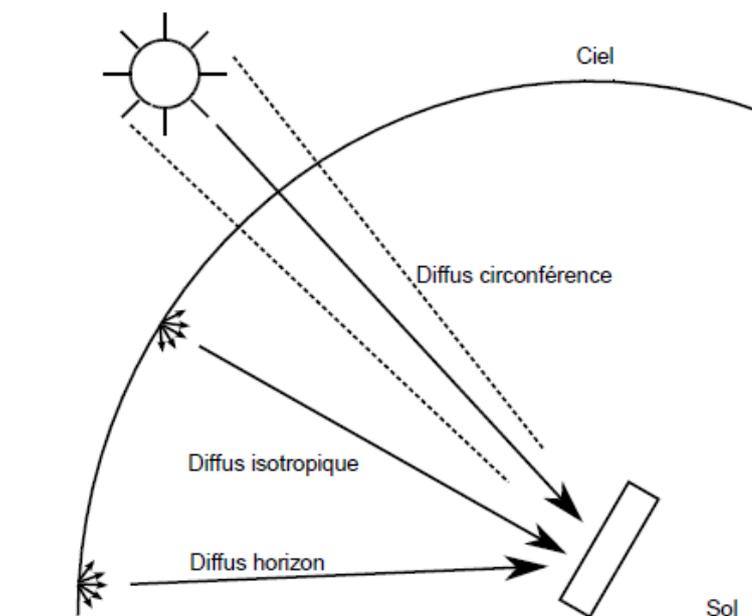


Fig.20- Rayonnement Diffus [47].

### 3.12.3. Rayonnement réfléchi $I_r$

Le rayonnement réfléchi est à prendre en compte seulement dans le cas d'une surface inclinée. Il est directement proportionnel au rayonnement global [55].

Le sol réfléchit une partie de l'éclairement qu'il reçoit en fonction de sa nature [43].

- sol cultivé 10 à 25% ;
- neige 60 à 90% ;
- sable 30 à 40%.

Albédo : c'est le rapport du rayonnement incident diffusé ou réfléchi sur le rayonnement Incident. Ce terme étant généralement réservé au sol ou aux nuages, c'est une valeur moyenne de leur réflectance pour le rayonnement considéré et pour tous les angles d'incidences possibles. Par définition, le corps noir possède un albédo nul [43].

Tableau 11- Valeurs typiques de L'albédo du sol [43].

Nature du sol	Valeurs	Valeurs moyennes
Sable sec	0,1 à 0,4	0,25
Déserts	0,2 à 0,4	0,3
Prairies et herbages	0,2 à 0,3	0,25
Foret	0,1 à 0,2	0,15
Neige fraîche	0,7 à 0,8	0,75
Neige ancienne	0,5 à 0,7	0,6
Habitat très dense	0,1 à 0,2	0,15
Habitat très dense	0,15 à 0,25	0,2

### 3.12.4. Rayonnement Global $I_G$

#### 3.12.4.1. Rayonnement Global sur une surface horizontale

Pour un rayonnement incident  $I_b$  faisant un angle  $h$  avec l'horizontale, le rayonnement global  $I_G$  est la somme du rayonnement direct  $I_b$  et du rayonnement diffus  $I_d$  [45].

$$I_G = I_b \sin h + I_d \quad (2-22)$$

Le rayonnement diffus peut être estimé par la relation [45] :

$$I_d = C \times I_b \quad (2-23)$$

Où  $c$  est un coefficient de diffusion du ciel. Les valeurs de ' $C$ ' sont tabulées et sont fonction de paramètres climatiques.

#### 3.12.4.2. Rayonnement global sur une surface inclinée

Le rayonnement solaire global  $I_G(\beta)$  sur une surface arbitraire ayant une inclinaison  $\beta$  par rapport à l'horizontale et un angle azimutal  $\gamma$  est la somme des composantes directe  $I_b(\beta)$ , diffuse  $I_d(\beta)$  et réfléchi par le sol  $I_r(\beta)$  du rayonnement solaire [47].

$$I_G(\beta) = I_b(\beta) + I_d(\beta) + I_r(\beta) \quad (2-24)$$

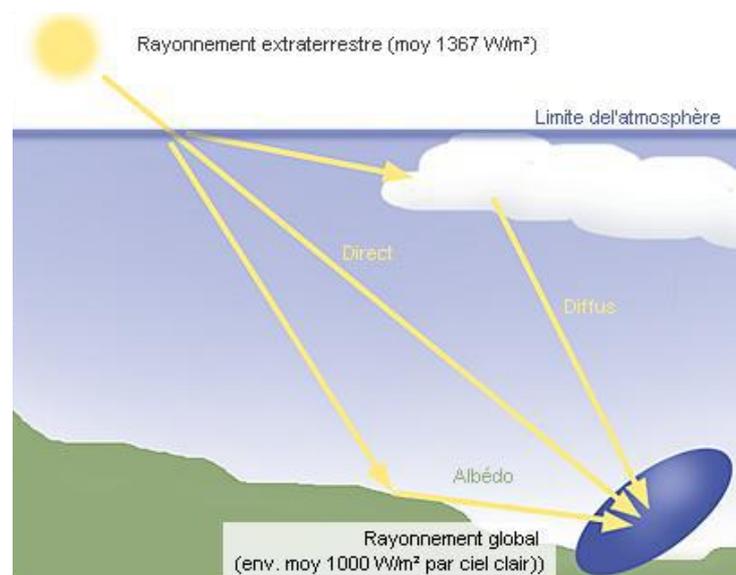


Fig.21 –rayonnement global [51].

### 3.13. Estimation du Rayonnement solaire sur une surface

Le rayonnement global sur une surface avec orientation arbitraire et une inclinaison  $\beta$  par rapport à l'horizontale est la somme de trois composantes [56]. la première composante c'est le rayonnement direct  $I_b(\beta)$  [47]. La deuxième composante c'est le rayonnement diffus du ciel et la troisième composante est le rayonnement réfléchi [57].

Des modèles empiriques permettent l'estimation de l'éclairement global reçu sur un plan incliné à partir des éclairements mesurés sur un plan horizontal [58]. Ces modèles sont basés sur les différentes contributions du ciel au rayonnement diffus, à savoir l'anisotropie et l'isotropie du ciel et la valeur estimée albédo pour le rayonnement réfléchi du sol.

### 3.13.1. Rayonnement direct

Un plan incliné est caractérisé par son inclinaison  $\beta$  (par rapport à l'horizontale), et de son orientation ou azimut  $\gamma$  par rapport au sud (négatif vers l'est, sens anti trigonométrique) [47].

L'angle d'incidence  $\theta_i$  est l'angle formé entre la normale du plan et les rayons du soleil. On parle souvent d'incidence normale lorsque  $\theta_i = 0$ . L'angle d'incidence s'écrit, en fonction de la position du soleil [la hauteur ( $h$ ) et l'azimut ( $a$ )], l'inclinaison ( $\beta$ ) du plan récepteur et de son azimut ( $\gamma$ ) par la relation [46] :

$$\cos(\theta_i) = \cos(90-h) \cdot \cos(\beta) + \sin(\beta) \cdot \sin(90-h) \cdot \cos(a-\gamma) \quad (2-25)$$

L'éclairement du au rayonnement direct sur un plan d'inclinaison et d'orientation quelconque est donné par la relation [57] :

$$I_b(\beta) = I_b R_b \quad (2-26)$$

$$R_b = \max\left(0, \frac{\cos \theta_i}{\sin h}\right) \quad (2-27)$$

$$I_b(\beta) = I_{bn} \cos \theta_i \quad (2-28)$$

Avec :

$I_{bn}$ : est le rayonnement sur un plan normal et  $\theta_i$  est l'angle d'incidence sur le plan considéré (Angle entre la normale à la surface et le rayon du soleil).

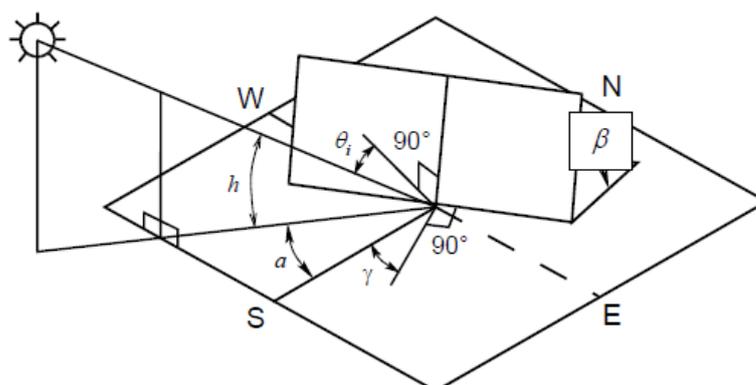


Fig.22 - Rayonnement direct sur une surface inclinée [43].

### 3.14. Différentes méthodes de modélisation énergétique de bâtiment

Trois méthodes différentes sont utilisées pour la modélisation énergétique d'un bâtiment.

Ces méthodes sont [59] :

- La méthode nodale

- Le CFD (Computational Fluid Dynamics )
- La méthode zonale

### 3.14.1. Méthode nodale

L'approche *nodale*, dite aussi multizone, considère que chaque zone d'un bâtiment est parfaitement et instantanément mélangée; Ainsi chaque zone peut être caractérisée par une seule pression, une seule température et une concentration uniforme par espèce présente. Cette méthode est largement utilisée, tant dans le domaine des transferts thermiques qu'aérouliques. Cette hypothèse de mélange parfait présente l'intérêt de pouvoir se limiter à un seul nœud pour la caractérisation de l'ambiance au sein d'une zone du bâtiment. Les équations régissant les transferts de masse et de chaleur sont alors considérablement simplifiées et les outils utilisant cette méthode permettent ainsi de prédire rapidement le comportement d'un bâtiment sur de longues périodes de temps telles qu'une saison ou une année entière [59].

Plusieurs logiciels de simulation thermique de bâtiments utilisent cette méthode pour la prédiction des températures de l'air à l'intérieur des zones thermiques. Parmi ces logiciels on peut citer TRNSYS, ENERGY PLUS et TRANBUILD [59].

### 3.14.2. CFD (Computational Fluid Dynamics)

Avec le développement de la mécanique des fluides et des méthodes numériques, les techniques de Dynamique des Fluides Numérique connues sous l'acronyme CFD (Computational Fluid Dynamics) sont devenues des outils très attractifs pour la prédiction des écoulements fluides dans de nombreux domaines de l'ingénierie, et ceci depuis le début des années 1970. Chen et coll 2002 ont présenté les instructions qui doivent être suivi lors de l'application du CFD. Ces instructions incluent la vérification, la validation et l'analyse des résultats obtenus selon les aspects suivants [59]:

- Modes de transfert de chaleur ;
- Modèles de turbulence ;
- Méthodes numériques ;
- Conformité aux prédictions.

Dès lors, ces techniques ont été employées pour l'analyse des écoulements d'air à l'intérieur des bâtiments. En effet elles ont l'attrait d'être beaucoup plus flexibles et moins onéreuses que les techniques expérimentales traditionnelles pour la description détaillée de la distribution spatiale et temporelle des grandeurs physiques de l'écoulement qui sont la vitesse d'air, la température, les concentrations en humidité ou polluant [59].

L'approche CFD détermine les caractéristiques d'un écoulement par la résolution des équations de Navier-Stokes. Cette technique requiert un maillage du domaine suffisamment fin pour capturer

l'énergie produite ou dissipée par les plus petits tourbillons présents dans l'écoulement. De ce fait elle s'avère très coûteuse en termes de temps de calcul [59].

Plusieurs logiciels de calcul CFD existent sur le marché et sont utilisés soit par les équipes de recherche soit par l'industrie. Parmi ces logiciels on peut citer FLUENT et PHOENICS [59].

### **3.14.3. Méthode zonale**

Depuis une quinzaine d'années, des modèles intermédiaires appelés modèles zonaux sont appliqués à la thermique du bâtiment. La mise en œuvre de ce type de modèle requiert un découpage du domaine étudié en macro volumes pour lesquels les bilans massique et thermique sont écrits de façon à pouvoir calculer le champ de température intérieur. Le principal avantage de ce type de modèle est de pouvoir calculer les spécificités thermiques et dynamiques du bâtiment en un temps assez court par rapport au CFD. Par contre, le problème majeur de cette approche de modélisation demeure l'évaluation correcte des transferts de masse et de chaleur entre chacune des zones considérées [59].

Une première approche consiste à fixer le sens des débits d'air et à fermer le problème ainsi posé par des lois d'écoulements spécifiques tels que les panaches, les jets ... Cette méthode a montré qu'elle donnait des résultats cohérents mais qu'elle était limitée dans son champ d'application par son hypothèse de base à savoir un scénario d'écoulement d'air fixé [59].

Une deuxième méthode consiste à calculer un champ de pression intérieur à l'aide d'une équation de conservation de la quantité de mouvement " dégradée " qui permet de relier un débit massique d'air entre deux zones à l'écart de pression correspondant. Si cette méthode présente un champ d'application plus large, ses limites apparaissent immédiatement pour la description des écoulements moteurs (panaches, jets ...) du fait d'une médiocre représentation de la quantité de mouvement de ces écoulements [59].

Il n'existe pas de logiciels commerciaux pour le calcul thermo aéraulique en utilisant la méthode zonale. Toutefois, il existe des codes développés par des équipes de recherche mais à l'utilisation très restreinte à des bâtiments de géométrie simple [60].

## **3.15. Performance énergétique d'un bâtiment**

### **3.15.1. Apports d'énergie dans le bâtiment**

Il y a deux types d'apports d'énergie dans le bâtiment : intérieurs et extérieurs. Dans ce qui suit, on parlera du cas du chauffage. La principale source d'apports intérieurs est le chauffage. La respiration et le rayonnement humains, l'électroménager et le multimédia sont aussi des sources potentielles d'apport énergétique.

Quant à l'apport extérieur, il s'agit du rayonnement solaire. Il est grandement influencé par les choix de l'orientation et des menuiseries.

### 3.15.2. Déperditions à travers l'enveloppe du bâtiment

Le bâtiment est un espace de vie et/ou de travail séparé du milieu environnant par une enveloppe. Ceci étant, cette enveloppe n'est pas tout à fait étanche car il faut bien avoir des sorties ne serait-ce que pour le renouvellement d'air. Les déperditions thermiques du bâtiment vers l'extérieur peuvent donc être scindées en deux parties [61]:

- déperditions par les parois : murs, plafonds, planchers, fenêtres, portes, ponts thermiques.
- déperditions par renouvellement d'air.

Les parois dont on parle ici sont destinées à séparer entre deux ambiances, et par conséquent limiter les flux thermiques, tout en prenant en considération la perméabilité à l'air et l'exposition au vent [61]. On y distingue essentiellement :

- Parois opaques : murs, planchers ;
- Liaisons provoquant les ponts thermiques : liaison mur-dallage béton ;
- Parois vitrées : fenêtres, porte-fenêtre.

Le tableau suivant donne quelques exemples de parois dans le bâtiment:

**Tableau 12-Exemples de parois dans le bâtiment [62].**

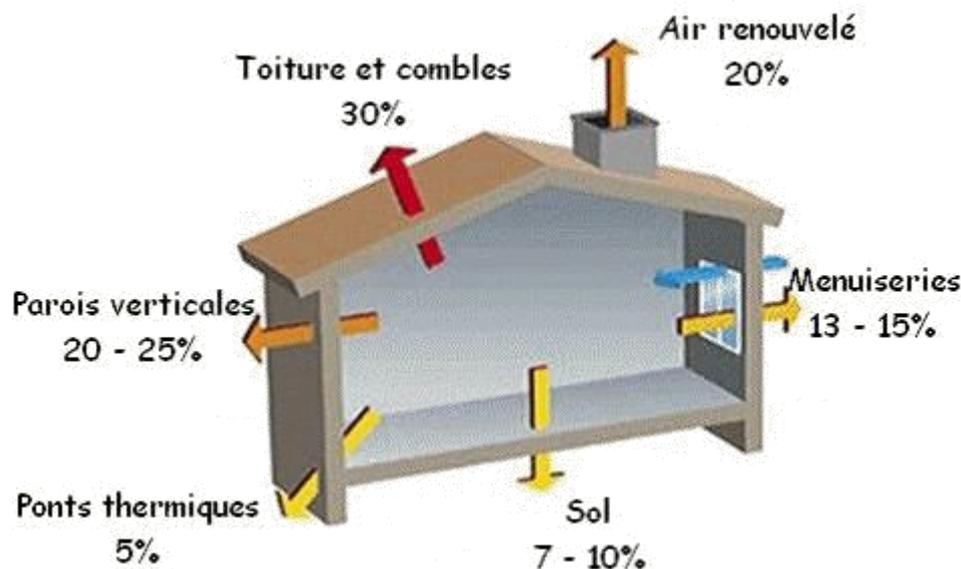
Parois opaques (sans les baies)			Menuiseries ou ouvrants	
Verticales	Horizontales	Inclinées	verticaux	Inclinés
murs d'habitation	planchers sur vide sanitaire ou sur cave	bardages inclinés	Fenêtres	Ouvrants en toitures inclinées

D'autre part, les parois peuvent séparer le bâtiment :

- de l'extérieur ;
- d'un local non chauffé (LNC) ;
- du sol.

Finalement, la transmission de la chaleur à travers ces parois peut être sous trois formes :

- surfacique ;
- linéique ;
- ponctuelle.



**Fig.23- Répartition approximative des déperditions thermiques dans le bâtiment [62]**

### 3.15.3. Combles et la toiture

Les combles et la toiture constitueraient la première zone de perte de chaleur (30% à peu près). Cela s'explique par le fait que l'air chaud monte et donc le sommet du bâtiment est naturellement sujet à plus de déperditions thermiques [62].

### 3.15.4. Parois verticales

Jusqu'à 25% des pertes de chaleur peuvent s'échapper par les murs. Après le toit, les murs sont la deuxième source de perte de chaleur (20-25%). Les murs exposés vers le Nord sont les plus concernés car peu ensoleillés. Quant aux murs exposés vers l'Ouest (ou le Nord, selon la région), ils sont plus concernés par l'humidité car plus exposés à la pluie [62].

### 3.15.5. Menuiseries extérieures

Environ 13 à 15 % de la chaleur s'échappe d'une fenêtre peu ou mal isolée. Isoler les fenêtres est une priorité économique et écologique. La qualité de la structure de la menuiserie est très importante, une fenêtre bas de gamme finit par mal fermer et mal isoler. Le choix du matériau est moins déterminant sur des menuiseries de qualité, le PVC, le bois ou l'aluminium sont très répandus [62].

### 3.15.6. Sol

Environ 7 à 10 % des pertes de chaleur peuvent s'effectuer par le sol. Un revêtement (plancher, moquette) est déjà un isolant, mais peut ne pas suffire. Il serait alors nécessaire d'isoler, et ce en fonction du type de sol. La meilleure solution est de créer un vide sanitaire de 20 à 50 cm de hauteur entre le sol et la terre. C'est une bonne solution pour isoler parfaitement et éviter les éventuels problèmes d'humidité. Cependant, il est impératif de bien le ventiler. Dans ce cas l'isolant doit être posé sous le sol [62].

Dans le cas d'une dalle sans vide sanitaire, on peut envisager des panneaux isolants, ou, si possible, prévoir un mortier isolant [62].

### 3.15.7. Renouvellement d'air

Le renouvellement d'air, ou ventilation, est nécessaire pour avoir un bon confort thermique. S'il doit être suffisant du point de vue de l'hygiène, il doit néanmoins être réduit pour éviter de grandes déperditions énergétiques [62].

Lorsqu'un air neuf, de température  $T_e$ , est introduit dans un local chauffé de température  $T_i$ , cet air devra alors être porté jusqu'à la température  $T_i$ . On a alors [62]:

$$Puissance\ nécessaire = Déperditions$$

Ou encore :

$$\phi = \rho_{air} Q_{vairneuf} C_{pair} (T_i - T_e) \quad (2-29)$$

Avec :

- $\rho_{air}$  : masse volumique de l'air ;
- $Q_{vairneuf}$  : débit d'air neuf hygiénique, fonction du type de bâtiment, du type de pollution des locaux, du nombre d'occupants... ;
- $C_{pair}$  : capacité calorifique de l'air = 1000 J/kg°C.

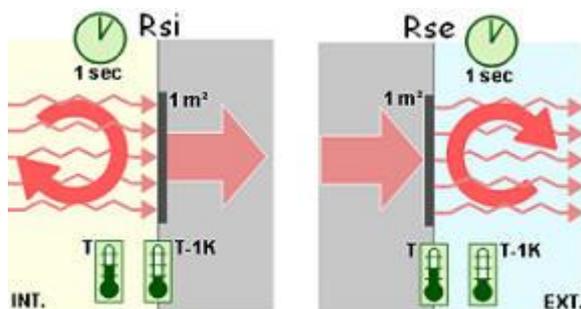
## 3.16. Calcul du bilan énergétique d'un bâtiment

### 3.16.1. Résistance thermique d'échange superficiel

La transmission de la chaleur de l'air ambiant à une paroi et vice versa se fait à la fois par rayonnement et par convection. Cet échange est influencé par :

- la température de l'air ambiant ;
- la température de la paroi ;
- la position (verticale, horizontale ou oblique) de la paroi ;
- la direction du flux.

Le coefficient d'échange thermique superficiel ( $h_i$ ) entre une ambiance intérieure et une paroi est la somme des quantités de chaleur transmise entre l'ambiance intérieure et la face intérieure de la paroi, par convection et par rayonnement, par unité de temps, par unité de surface de la paroi et pour un écart de 1 K entre la température de la résultante sèche de l'ambiance et la température de surface [63] :



**Fig.24- Résistances thermiques superficielles intérieure et extérieure [63].**

$h_i$  : s'exprime en  $W/m^2K$  ;

$r_i$  : la résistance thermique d'échange d'une surface intérieure est égale à l'inverse du coefficient d'échange thermique de surface intérieure  $h_i$  :

$$r_i = \frac{1}{h_i} \quad (2-30)$$

De même, la résistance d'échange superficiel externe est :

$$r_e = \frac{1}{h_e} \quad (2-31)$$

Les résistances d'échange superficiel sont données dans le tableau suivant (en  $W/m^2K$ ):

**Tableau 13-Résistances d'échanges superficiels [61]**

Paroi	Angle formé avec l'horizontale	Sens du flux	Parois en contact avec l'extérieur, un passage couvert ou un local ouvert			Parois en contact avec un autre local chauffé ou non chauffé, un comble ou un vide sanitaire		
			$\frac{1}{h_i}$	$\frac{1}{h_e}$	$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$	$\frac{1}{h_i}$	$\frac{1}{h_e}$	$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$
Verticale	$> 60^\circ$	Horizontal	0.11	0.06	0.17	0.11	0.11	0.22
Horizontale	$\leq 60^\circ$	Ascendant	0.09	0.05	0.14	0.09	0.09	0.18
Verticale	$\leq 60^\circ$	Descendant	0.17	0.05	0.22	0.17	0.17	0.34

### 3.16.2. Résistance thermique totale

Les échanges thermiques à travers une paroi se font par :

- convection et rayonnement, de part et d'autre de la paroi ;
- conduction, à travers les matériaux constituant la paroi.

**Tableau 14-Résistances partielles d'une paroi [62] :**

Type d'échange	Résistance
Echanges superficiels par convection et rayonnement	Résistance superficielle interne : $r_i$ Résistance superficielle externe : $r_e$
Echanges par conduction	Résistance thermique de chaque constituant d'une paroi

Ces échanges dépendent alors du gradient de température entre l'intérieur et l'extérieur, et de la résistance thermique totale de la paroi [62].

La résistance thermique totale est égale à la somme des résistances des parois et des résistances superficielles.

$$R = r_i + r_e + \sum r_n \quad (2-32)$$

Les échanges thermiques sont faibles si la résistance thermique totale est élevée.

### 3.17. Description du modèle physique abordé

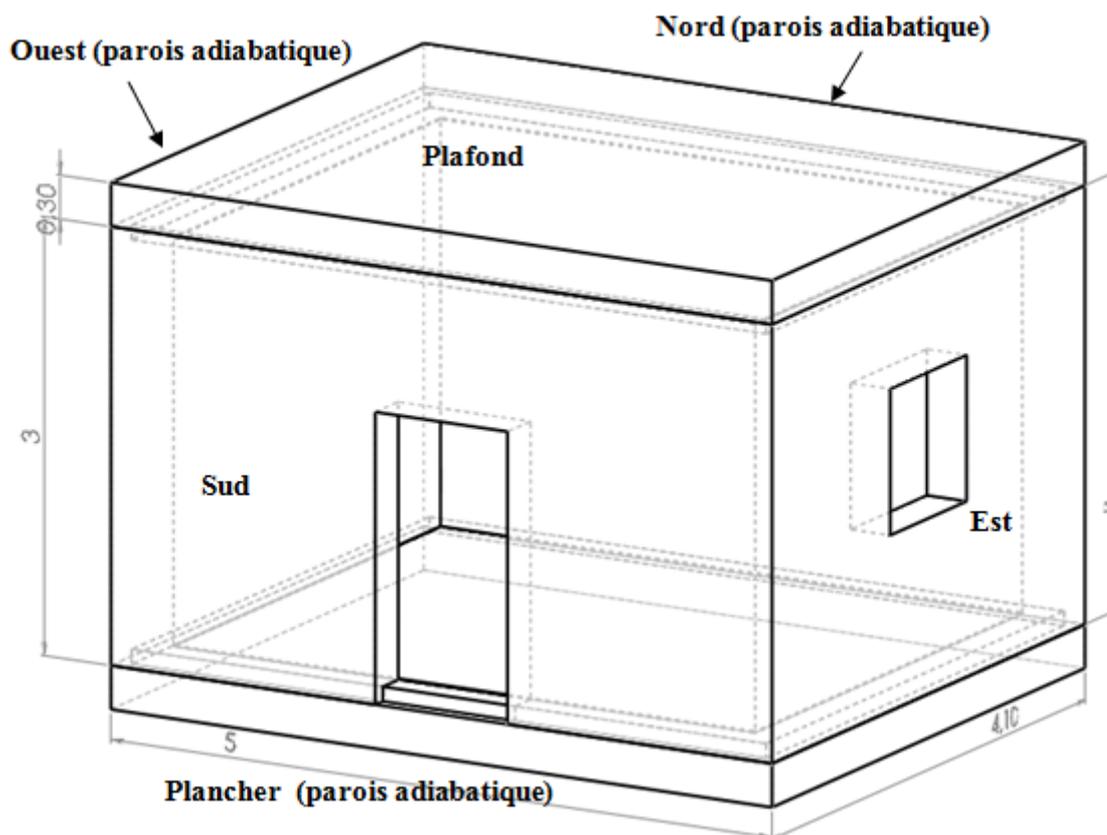


Fig. 25- Description du modèle physique abordé

Les dimensions de l'habitat :

- La porte : 1x2 m
- La fenêtre ; 1x1 m

**Tableau 15- dimensionnement de model physique.**

	Mur sud	Mur nord	Mur ouest	Mur est	plafond	plancher
<b>Langueur (m)</b>	5	5	4.10	4.10	5	5
<b>Largeur (m)</b>	-	-	-	-	4.10	4.10
<b>hauteur (m)</b>	3	3	3	3	3.3	-
<b>Epaisseur (m)</b>	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

La matière de la construction de cette enveloppe habitable est procède les propriétés physico-thermique les suivantes:

**Tableau 16- Propriétés physico-thermique des matériaux de construction [67].**

	Béton	Brique
<b>La densité volumique (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1185	750
<b>Conductivité thermique (W/m·K)</b>	0.952	0.35

### 3.18. Distribution du flux solaire sur les parois de l'habitat

La distribution du flux solaire moyenne journalière sur les parois de l'habitat est donne dans le tableau ci-après.

**Tableau 17- Distribution du flux solaire sur les parois de l'habitat.**

	Mur sud	Mur nord	Mur ouest	Mur est	plafond	plancher
<b>Densité du flux (w/m<sup>2</sup>)</b>	53.1	0	0	80	117	0

Les bilans énergétiques des surfaces intérieures et extérieures sont donnés par les équations suivantes :

$$m C_p \frac{dT}{dT} = \sum Q_{adsorbées} - \sum Q_{émises} \quad (2-33)$$

L'idée est d'avoir tout d'abord une comparaison sur les températures de l'air et de chaque surface pour identifier convenablement les directions des transferts de chaleur. Cette étude théorique est réalisée durant une période chaude [66]. Elle est basée sur des remarques préliminaires qui nous conduisent à décider et de juger que:

Pour l'habitat :

$$T_{mursud} > T_{murouest} > T_{toi} > T_{air} > T_{murest} > T_{sol} > T_{murnord}$$

Mur Ouest : on considérait que le mur ouest est adiabatique

$$\rho_a v_2 C_a \frac{dT_2}{dt} = 0 \quad (2-34)$$

Toit :

$$\rho_a v_3 C_a \frac{dT_3}{dt} = \frac{(T_{tpeat} - T_2)}{\Sigma R_{toit}} + Q_{r13} + Q_{r23} - h_{cv34} S_3 (T_3 - T_4) - Q_{r35} - Q_{r36} - Q_{r37} - Q_{r3p} + Q_{r3f} \quad (2-35)$$

avec

$$\Sigma R_{ouest} = \left( \frac{e_a}{\lambda_a S_3} \right) + \left( \frac{e_h}{\lambda_h S_3} \right) + \left( \frac{e_s}{\lambda_s S_3} \right) + \left( \frac{e_d}{\lambda_d S_3} \right) + \left( \frac{e_g}{\lambda_g S_3} \right)$$

Air intérieur :

$$\rho_a v_4 C_a \frac{dT_4}{dt} = h_{cv14} S_1 (T_1 - T_4) + Q_{cv24} + Q_{cv34} + h_{cv45} S_5 (T_4 - T_5) - Q_{cvf4} - Q_{cv46} - Q_{cv47} - Q_{cv4p} - Q_{r3f} \quad (2-36)$$

Mur est :

$$\rho_a v_5 C_a \frac{dT_5}{dt} = \frac{(T_5 - T_4)}{\Sigma R_{est}} + Q_{r15} + Q_{r25} + h_{cv45} S_5 (T_4 - T_5) - Q_{r35} - Q_{r56} - Q_{r57} - Q_{r5p} + Q_{r5f} \quad (2-37)$$

Avec

$$\Sigma R_{est} = \left( \frac{2e_a}{\lambda_a S_5} \right) + \left( \frac{e_b}{\lambda_b S_5} \right)$$

Sol : on considérait que le sol est adiabatique

$$\rho_d v_6 C_d \frac{dT_6}{dt} = 0 \quad (2-38)$$

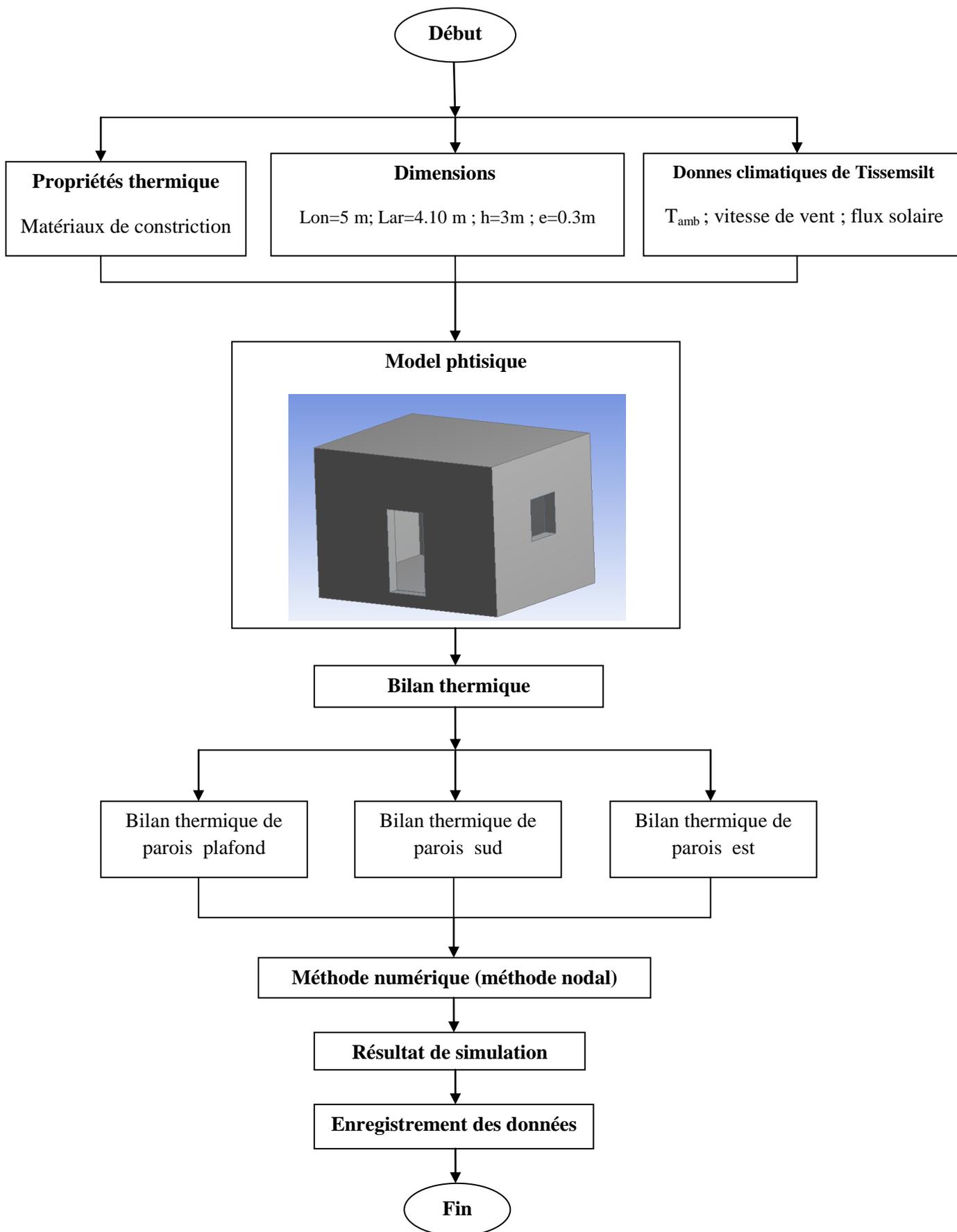
Mur nord : on considérait que le mur nord est adiabatique

$$\rho_a v_7 C_a \frac{dT_7}{dt} = 0 \quad (2-39)$$

Mur sud:

$$\rho_c v_8 C_c \frac{dT_8}{dt} = -\frac{(T_8 - T_1)}{\Sigma R_{sud}} + \alpha S_1 E_s + h_{cvam8} S_1 (T_{am} - T_8) + h_{rc8} S_1 (T_c - T_8) + h_{rsolxt8} S_1 (T_{solxt} - T_8) \quad (2-40)$$

### 3.19. Organigramme de la modélisation et la simulation numérique :



### 3.20. Bilan thermique de la maison mono bloc

Un bilan thermique de maison mono bloc permet de calculer ses besoins de chauffage:

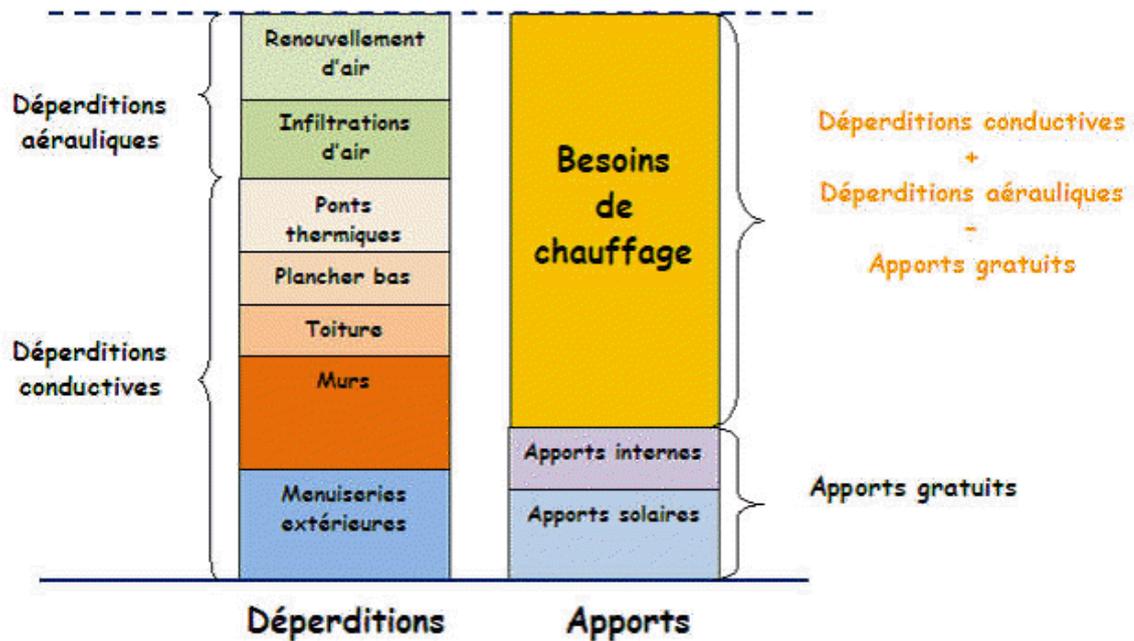


Fig.26- Besoins de chauffage dans maison monobloc [64]

Le total des déperditions est naturellement égal au total des apports.

**La thermique du bâtiment:** est une discipline de la thermique visant à étudier les besoins énergétiques des bâtiments [65]. Elle aborde principalement les notions d'isolation thermique et de ventilation afin d'offrir le meilleur confort thermique aux occupants. Elle aborde aussi les problématiques de fourniture d'énergie pour le chauffage et de production d'eau chaude sanitaire [65].

- Dimension : largeur 4.10 m
- Longueur 5 m
- Hauteur 3 m
- Plancher : dalle en béton ( $\lambda=1,28$  W/m. °C) de 30 cm non isolée sur terre-plein
- Plafond : 30 cm dalle béton ( $\lambda=1,28$  W/m. °C)
- 20 cm laine de verre ( $\lambda=0,03$  W/m. °C)
- Murs extérieure : 1 cm ciment ( $\lambda=0,7$  W/m. °C)
- 20 cm de brique creuse ( $\lambda=0,35$  W/m. °C)
- 10 cm isolant en polyptère expansé ( $\lambda=0,033$  W/m. °C)
- 4 fenêtres : (2 en façade avant, 2 en façade arrière)
- Dimension : 1 m X 1.20 m
- 1 porte : dimension : 2m X 1m

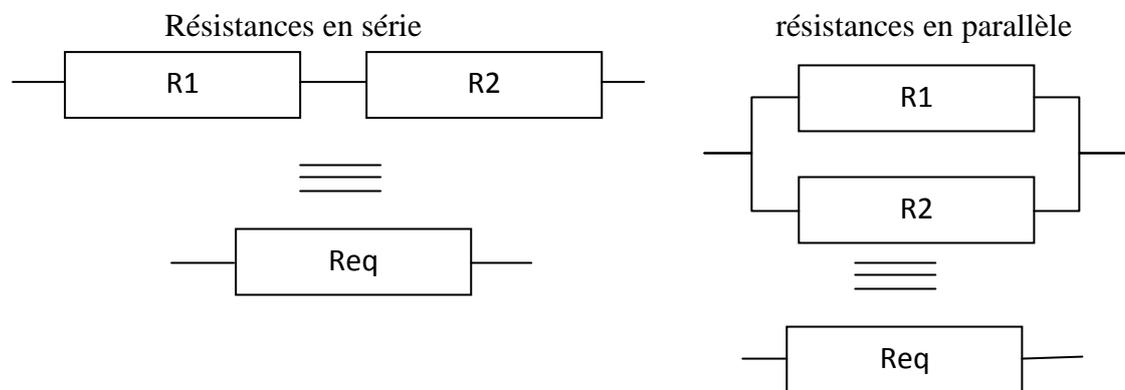
- Résistance thermique :  $0.02 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$
- Conduction extérieur :  $8 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Conduction intérieur :  $20 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Température vers le sol :  $15 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Rappel : flux thermique :

$$\Phi = \frac{T_{int} - T_{ext}}{R_{totale}} \quad (2-41)$$

- Résistance de conduction :

$$R_{conduction} = \frac{e}{\lambda S} \quad (2-42)$$

Résistance en série et en parallèle :



Résistance en série :

$$Req = R1 + R2 \quad (2-43)$$

Résistance en parallèle :

$$\frac{1}{Req} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} \quad (2-44)$$

- Façade avant : un port et deux fenêtres

Résistance thermique de la porte :  $R_{porte} = 0.02 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$

Résistance thermique d'une fenêtre :  $R_{fen\hat{e}tre} = 0.03 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$

Surface mur :  $S_{Mur} = S_{totale} - S_{porte} - S_{2 \text{ fen\hat{e}tres}} = 30 - 2 - 2.4 = 25,6 \text{ m}^2$

Resistance thermique des murs :

$$R_{mur} = \frac{e_{ciment}}{\lambda \cdot S_{Mur}} + \frac{e_{isolation}}{\lambda \cdot S_{Mur}} + \frac{e_{b\hat{e}ton}}{\lambda \cdot S_{Mur}} \quad (2-45)$$

$$R_{mur} = \frac{0,7 \cdot 10^{-2}}{0,35 \cdot 25,6} + \frac{10 \cdot 10^{-2}}{0,033 \cdot 25,6} + \frac{20 \cdot 10^{-2}}{0,35 \cdot 25,6} = 0,141 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$$

$$R_{global} = 8,31 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$$

- Façade arrière : deux fenêtres

Résistance thermique d'une fenêtre :  $R_{fen\hat{e}tres} = 0,03 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$

$$\text{Surface du mur : } S_{Mur} = S_{totale} - S_{fen\hat{e}tres} = 25 - 2,4 = 22,6 \text{ m}^2$$

Résistance thermique de mur :

$$R_{mur} = \frac{e_{ciment}}{\lambda \cdot S_{Mur}} + \frac{e_{isolation}}{\lambda \cdot S_{Mur}} + \frac{e_{brique}}{\lambda \cdot S_{Mur}}$$

$$R_{mur} = \frac{0,7 \cdot 10^{-2}}{0,35 \cdot 22,6} + \frac{10 \cdot 10^{-2}}{0,033 \cdot 22,6} + \frac{20 \cdot 10^{-2}}{0,073 \cdot 22,6} = 0,256 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$\frac{1}{R_{global}} = \frac{1}{R_{mur}} + \frac{1}{R_{fenetre}} = \frac{1}{0,256} + \frac{1}{0,03} = 70,57 \text{ W}/^\circ\text{C}$$

$$R_{global} = 0,0142 \text{ W}/^\circ\text{C}$$

- Façade gauche et façade droit : une fenêtre

Résistance thermique d'une fenêtre :

$$R_{fen\hat{e}tres} = 0,03 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$\text{Surface du mur : } S_{Mur} = S_{totale} - S_{fen\hat{e}tres} = 20 - 1,2 = 18,8 \text{ m}^2$$

Résistance thermique de mur :

$$R_{mur} = \frac{e_{ciment}}{\lambda \cdot S_{Mur}} + \frac{e_{isolation}}{\lambda \cdot S_{Mur}} + \frac{e_{b\acute{e}ton}}{\lambda \cdot S_{Mur}}$$

$$R_{mur} = \frac{0,7 \cdot 10^{-2}}{0,35 \cdot 18,8} + \frac{10 \cdot 10^{-2}}{0,033 \cdot 18,8} + \frac{20 \cdot 10^{-2}}{0,073 \cdot 18,8} = 0,308 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$\frac{1}{R_{global}} = \frac{1}{R_{mur}} + \frac{1}{R_{fenetre}} = \frac{1}{0,308} + \frac{1}{0,03} = 36,58 \text{ W}/^\circ\text{C}$$

$$R_{global} = 0,0273 \text{ W}/^\circ\text{C}$$

- Plancher :

Résistance thermique :

$$R_{mur} = \frac{e}{\lambda \cdot S_{plancher}} = \frac{20 \cdot 10^{-2}}{1,28 \cdot 80} \approx 0,002 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

- Plafond :

$$R_{plafon} = R_{b\acute{e}ton} + R_{L.V} = \frac{e_{b\acute{e}ton}}{\lambda_{b\acute{e}ton} \cdot S_{plafond}} + \frac{e_{L.V}}{\lambda_{L.V} \cdot S_{plafond}}$$

$$R_{plafon} = \frac{20 \cdot 10^{-2}}{1,28 \cdot 80} + \frac{10 \cdot 10^{-2}}{0,03 \cdot 80 \cdot S_{plafond}} \approx 0,04 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

- Finalement :

Résistance thermique de placher :

$$\frac{1}{R_{\text{sauf-plancher}}} = \frac{1}{R_{\text{avant}}} + \frac{1}{R_{\text{arrière}}} = \frac{1}{R_{\text{droit}}} + \frac{1}{R_{\text{gauche}}} + \frac{1}{R_{\text{plafond}}}$$

$$\frac{1}{R_{\text{sauf-plancher}}} = \frac{1}{8,31 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{0,0142} + \frac{1}{0,0273} + \frac{1}{0,0273} + \frac{1}{0,04}$$

$$R_{\text{plafond}} = 0,0035 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

- Déperdition thermique vers l'air extérieur :

$$\phi = \frac{20 - 8}{0,0015} = 3428,57 \text{ W} = 3,43 \text{ KW}$$

Déperdition thermique vers le sol :

$$\phi = \frac{20 - 15}{0,002} = 2500 \text{ W} = 2,5 \text{ KW}$$

Déperdition thermique totales:

$$\phi = 3,43 + 2,5 = 5,93 \text{ KW}$$

### 3.20.1. Déperditions sur une période

Les déperditions sont calculées selon l'élément à travers lequel le transfert de chaleur a lieu. Dans ce qui suit, on présentera les formules théoriques pour calculer les déperditions thermiques [62].

Murs, planchers et toits :

$$U = \frac{1}{R} \left[ \frac{\text{W}}{\text{Km}^2} \right] \quad (2-46)$$

R : étant la résistance thermique totale de la paroi, comme vu dans

Vitres. La résistance thermique totale de la surface vitrée doit être majorée afin de prendre en considération :

- la menuiserie ;
- les rideaux ;
- la fermeture, éventuellement.

Ainsi, le coefficient de transmission de la vitre est tel que :

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_n} + 0,025 \left[ \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right] \quad (2-47)$$

$U_n$  : étant le coefficient de transmission thermique de la paroi vitrée nue + menuiserie. Il est donné selon le type de la menuiserie (bois, métal ou plastique) et selon le type de la fenêtre.

### 3.20.1.1. Déperditions linéiques

#### - *Ponts thermiques*

Un pont thermique est considéré comme déperdition linéique car l'échange de chaleur se fait suivant une longueur. Les déperditions thermiques sont alors [62]:

$$d = 2K(louh) \quad (2-48)$$

L : ou h étant la longueur du pont thermique, selon qu'il s'agit d'un plancher ou d'un mur de refend, respectivement. Le coefficient de transmission linéique  $k$  est le plus souvent déterminé expérimentalement.

#### - **Dallage sur terre-plein** [62]

Pour un écart de température de 1K, les déperditions sont :

$$d = kL \quad (2-49)$$

Avec :

- $k$  : coefficient de transmission linéique (W/m. K) ;
- $L$  : pourtour extérieur du plancher (m).

Cette formule concerne également les liaisons murs-plancher.

### 3.20.1.2. Déperditions ponctuelles

Elles ont lieu dans les recoins des locaux en contact avec l'extérieur. Elles sont pratiquement négligeables devant les déperditions linéiques [62].

### 3.20.1.3. Déperditions vers les locaux non chauffés

Ce type de déperditions est à la fois surfacique et linéique.

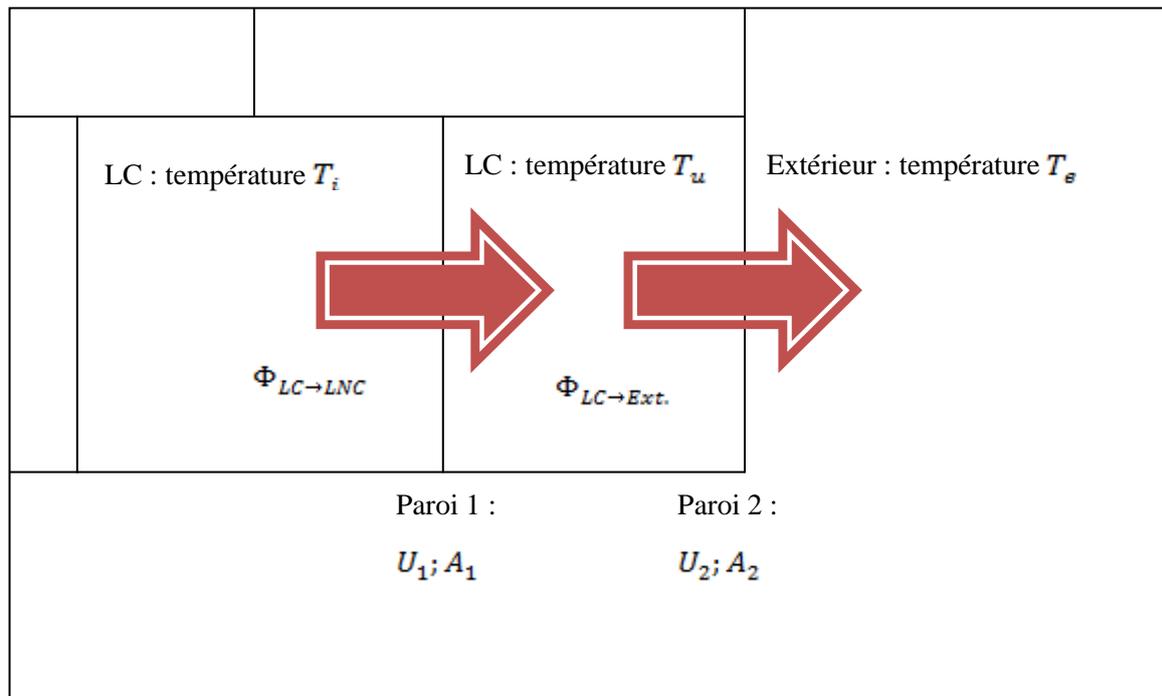
Pour les LNC, il y a lieu de distinguer entre :

- les LNC utilisables :
  - Garage ;
  - Locaux de sous-sol ;
- les LNC non utilisables :
  - Combles perdus ;
  - Vide sanitaire.

La température d'un LNC est, durant la période de chauffage, généralement supérieure à la température extérieure. Elle dépend de l'aération du local [62].

Les déperditions vers les LNC sont naturellement moins importantes que ceux vers l'extérieur (gradient de température oblige) [62].

La figure suivante illustre les déperditions surfaciques vers un LNC :



**Fig.27- Déperditions surfaciques vers un local non chauffé [62].**

Le bilan thermique du LNC nous donne :

$$\phi_{s,LC \rightarrow LNC} = \phi_{LNC \rightarrow ext} \quad (2-50)$$

C'est-à-dire :

$$U_1 A_1 (T_i - T_u) = U_2 A_2 (T_u - T_e) \quad (2-51)$$

On peut donc écrire :

$$\phi_{s,LC \rightarrow LNC} = U_1 A_1 b (T_i - T_e) \quad (2-52)$$

Avec :

$$b = \frac{(T_i - T_u)}{(T_i - T_e)} \quad (0 \leq b \leq 1) \quad (2-53)$$

Appelé coefficient de réduction des températures. Sa connaissance nous évite de devoir connaître la température  $T_u$  du LNC. Ses valeurs dépendent de la nature du LNC, elles sont fixées par le règlement.

De même, les déperditions linéiques s'écrivent :

$$\phi_{l,LC \rightarrow LNC} = k_1 l_1 b (T_i - T_e) \quad (2-54)$$

$k_1 E t l_1$  étant respectivement le coefficient de transfert linéique et la longueur intérieure de la liaison.

Finalement, les déperditions vers un LNC sont, par écart unitaire de température :

$$DP = b \times \left( \sum UA + \sum k L \right) \quad (2-55)$$

Dans la pratique, on utilise les formules suivantes pour calculer les déperditions thermiques dans un bâtiment :

**Tableau 18-Calcul des différentes déperditions thermiques dans une maison mono bloc [62]**

Déperditions aérauliques	Renouvellement d'air	$0.34 \times \text{débit} \times (1 - \text{Rend VMC}) \times DJ \times 24/1000$
	Infiltrations d'air	$0.34 \times \text{débit d'infiltration} \times DJ \times 24/1000$
Déperditions à travers l'enveloppe	Ponts thermiques	$\Psi \times \text{linéaire ponts therm.} \times DJ \times 24/1000$
	Plancher bas	$U_{\text{plancher}} \times \text{Surface plancher} \times DJ \times 24/1000$
	Toiture	$U_{\text{toiture}} \times \text{Surface toiture} \times DJ \times 24/1000$
	Murs	$U_{\text{murs}} \times \text{Surface murs} \times DJ \times 24/1000$
	Menuiseries extérieures	$U_{\text{fenêtres}} \times \text{Surface fenêtres} \times DJ \times 24/1000$

### 3.20.2. Apports gratuits

#### 3.20.2.1. Apports internes des habitants

Il s'agit de la quantité de chaleur dégagée par les habitants. Vu qu'elle est très variable selon l'individu (sexe, corpulence, ...) et selon l'activité (repos, activité physique), on modélise les apports internes des habitants sous la forme d'une puissance par heure et par mètre carré  $q_i$  fixée par la réglementation. L'apport interne des habitants est donc [62]:

$$Q_i = q_i \times A_{\text{bât}} \times 24 \quad [Wh] \quad (2-56)$$

$A_{\text{bât}}$  : étant la surface fonctionnelle de la maison en m<sup>2</sup>.

#### 3.20.2.2. Apports solaires

Les apports solaires dépendent :

- du site où se trouve la maison ;

- de son orientation ;
- de ses surfaces réceptrices.

Ils sont calculés par :

$$Q_s = \sum I_{sj} \times A_{sj} \times 24 \quad (2-57)$$

Avec :

- $I_{sj}$  : l'irradiation solaire pour l'orientation j [W/m<sup>2</sup>] ;
- $A_{sj}$  : l'aire réceptrice équivalente d'orientation j [m<sup>2</sup>]. Elle se calcule par :

$$A_s = A \times F_S \times S \quad (2-58)$$

Avec :

- $A$  : la surface du bâtiment [m<sup>2</sup>];
- $F_S$  : le facteur de correction pour l'ombrage ;
- $S$  : le facteur solaire ; pourcentage d'énergie entrant dans un local par rapport à l'énergie incidente.

### 3.20.2.3. Apports dus à l'éclairage

Les faisceaux de lumière, étant par définition des ondes électromagnétiques, transportent de l'énergie. Pour une lampe émettant une quantité de chaleur  $q_e$  par mètre carré (donnée par le fabricant), l'énergie émise totale est alors [62] :

$$Q_e = q_e \times A_{bât} \quad (2-59)$$

### 3.20.2.4. Apports spécifiques

D'autres apports spécifiques peuvent exister, selon l'orientation de la maison : équipements médicaux, machines diverses, ....

On notera ces apports par  $Q_{as}$ .

### 3.20.3. Besoins en chauffage

Le total des apports est [52]:

$$Q_G = Q_i + Q_s + Q_e + Q_{as} \quad [Wh] \quad (2-60)$$

Les besoins en chauffage sont donc :

$$Q_{CH} = D - n \times Q_G \quad [Wh] \quad (2-61)$$

$D$  : total des déperditions.

Le coefficient  $n$  est calculé par :

$$n = \frac{1 - q^a}{1 - q^{a+1}} \quad (2-62)$$

$q$  étant le rapport entre les apports et les déperditions et  $a$  un paramètre dépendant de la constante du temps  $t$  caractérisant l'inertie thermique du bâtiment :

$$a = 1 + \frac{t}{16} \quad (2-63)$$

La classe du bâtiment indique sa classe d'inertie  $C_m$ , qui caractérise l'aptitude de la maison à absorber et à restituer l'énergie thermique :

$$t = \frac{C_m}{H} \quad (2-64)$$

La consommation pour les besoins de chauffage dépendra du rendement du système de chauffage.

#### 3.20.4. Besoins en climatisation

Comme il est le cas pour les besoins de chauffage, les besoins en climatisation de la maison s'obtiennent par un bilan thermique [62]:

$$Q_{CL} = Q_T + Q_V + Q_S + Q_I - Q_{VN} \quad (2-65)$$

Avec :

- $Q_T$ : apports par transmission ;
- $Q_V$ : apports par ventilation ;
- $Q_S$ : apports par ensoleillement ;
- $Q_I$ : apports intérieurs ;
- $Q_{VN}$ : déperditions par ventilation naturelle.

#### 3.21. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié les équations et les formules les plus importantes liées au calcul du rayonnement solaire et de ses types, ainsi que l'équation de l'équilibre thermique et son rôle dans la réalisation du confort thermique dans les maisons.

# **Chapitre N°04**

## ***Résultats et Discussions***

## 4.1.Introduction

Ce chapitre est consacré à l'interprétation des résultats obtenus par la simulation numérique obtenus par le calcul numérique pour chaque façade de l'enveloppe habitable telle que :

- L'évolution de la température des façades des parois de l'enveloppe habitable ;
- L'évolution de la densité du flux solaire des parois exposées aux rayonnements solaires ;
- La variation de la température des ambiances à l'intérieur et à l'extérieur de l'habitat en fonction des conditions climatiques de la région considérée.

De plus, dans le coté des apports énergétiques, nous allons exposer également quelques résultats concernant l'évolution de la densité du flux solaire incident sur les différentes parois de l'enveloppe habitable, la température restituée par chaque façade du bâtiment et enfin la température du confort thermique au sein de l'habitat.

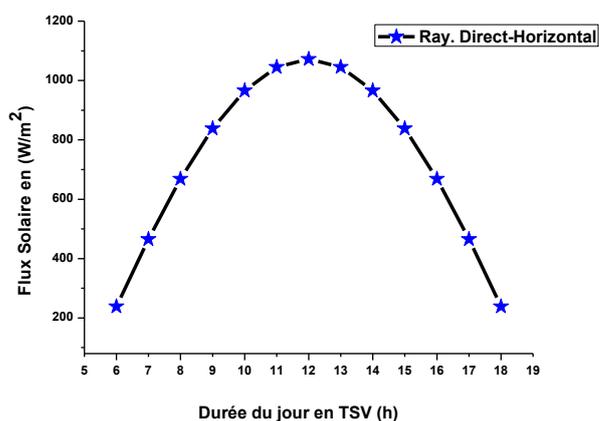
En effet, nous avons constaté qu'il y avait plusieurs paramètres qui peuvent influencer le confort thermique dans l'habitat. Dans cette étude, nous avons basesur les paramètres climatologies telles que : la vitesse du vent, la température d'ambiante et la densité du flux solaire incident sur chaque parois de l'habitat.

## 4.2. Evaluation de la densité du flux solaire pour un plan horizontal

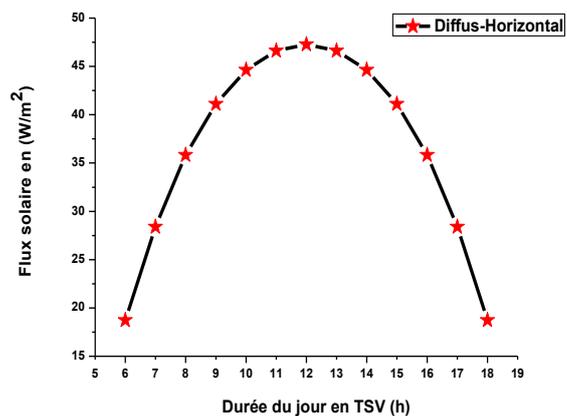
Le rayonnement solaire qui arrive au sol se décomposer en deux parties : L'une provient directement du soleil (direct), l'autre a été diffusée par l'atmosphère (diffuse). L'atmosphère et la terre possèdent également un rayonnement propre. La connaissance de ces divers rayonnements permet d'établir un bilan radiatif d'un tel système comme une maison individuelle. Donc, la figure 28 présente l'évolution de la composante directe de la densité du flux solaire reçu par un plan horizontal dans une journée type dans l'année 2017. On constate que, y une symétrie dans les valeurs d'avant midi et après-midi avec un maximal vers midi solaire environ de  $1100\text{W}/\text{m}^2$ .

En plus, la figure 29 présente l'évolution de la composante diffuse de la densité du flux solaire global. Nous avons constaté que cette évolution à un maximal vers midi solaire qui est de  $46\text{W}/\text{m}^2$ , avec des valeurs nulles avant le lever du soleil vers 05h40 et après le coucher du soleil vers 18h30.

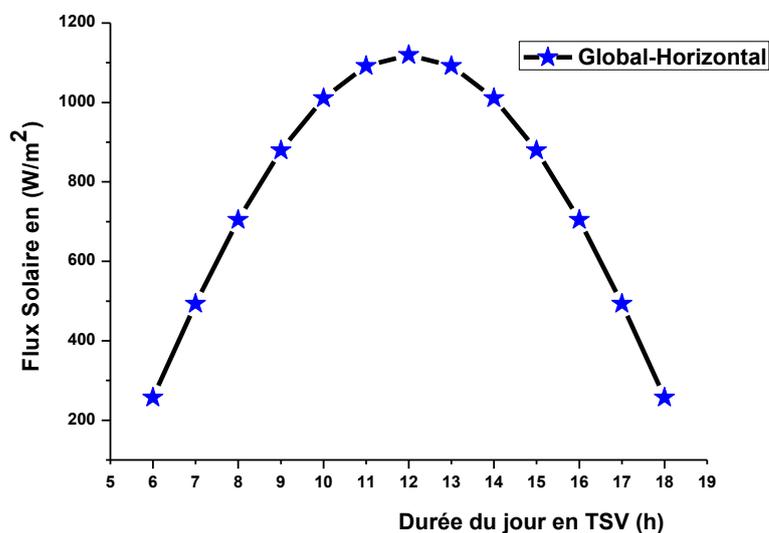
La figure 30 présente l'évolution de la densité du flux solaire global pour le plan horizontal dans une journée type de 2017, on conclut que cette densité du flux atteint son maximal de  $1030\text{W}/\text{m}^2$  à midi solaire (12 TSV) et son minimale au début et à la fin a journée.



**Fig.28- Evolution de la densité du flux solaire direct horizontal dans une journée solaire type.**



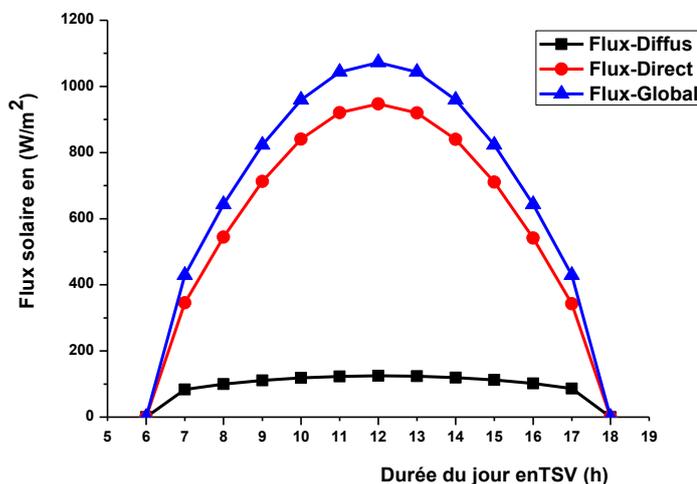
**Fig.29 -Evolution de la densité du flux solaire diffus horizontal dans une journée solaire type.**



**Fig.30- Evolution de la densité du flux solaire global horizontal dans une journée solaire type.**

La figure 31 montre la présentation des composantes directes et diffuse de la densité du flux solaire global en temps solaire vrai afin de déduire l'énergie maximale reçue en tout point dans un intervalle de temps donné. Dans cette première approche, on néglige donc deux phénomènes : le couvert nuageux, qui modifie le rapport entre les composantes directes et diffuses de l'ensoleillement, et la réflexion, qui ajoute une troisième composante, souvent ramenée à la notion d'albédo. Les valeurs examinées ici n'ont donc de sens qu'en puissance instantanée, ou en énergie intégrée sur une journée parfaitement ensoleillée en l'absence de toute surface réfléchissante.

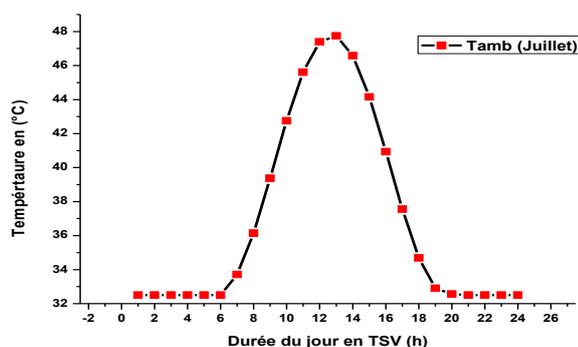
On conclut aussi de cette figure 31 que pour n'importe quelle que densité du flux solaire global reçu par un plan horizontal il doit y avoir deux composantes nécessaires telle que la composante du flux direct qui a dès valeur horaire un peu plus petit que celle des globaux d'après la figure précipitée. D'une autre part, nous avons une autre composante qui est le diffuse avec des valeurs aussi plus petites que celle des directs.



**Fig.31- Evolution des trois composantes la densité du flux solaire horizontal dans une journée solaire type.**

### 4.3. Evaluation de la température de l'ambiance externe

La figure 32 représente l'évolution de la température moyenne de l'air extérieur en fonction de l'heure pour le mois de juillet. La température extérieure du bâtiment à midi solaire est visiblement plus grande que celle des périodes avant midi et après midi et surtout plus grande par rapport à la période nocturne. Cette différence est due à l'effet du soleil durant une journée dans la saison d'été qui permet l'augmentation de la température jusqu'à 47 °C vers 12 heures.

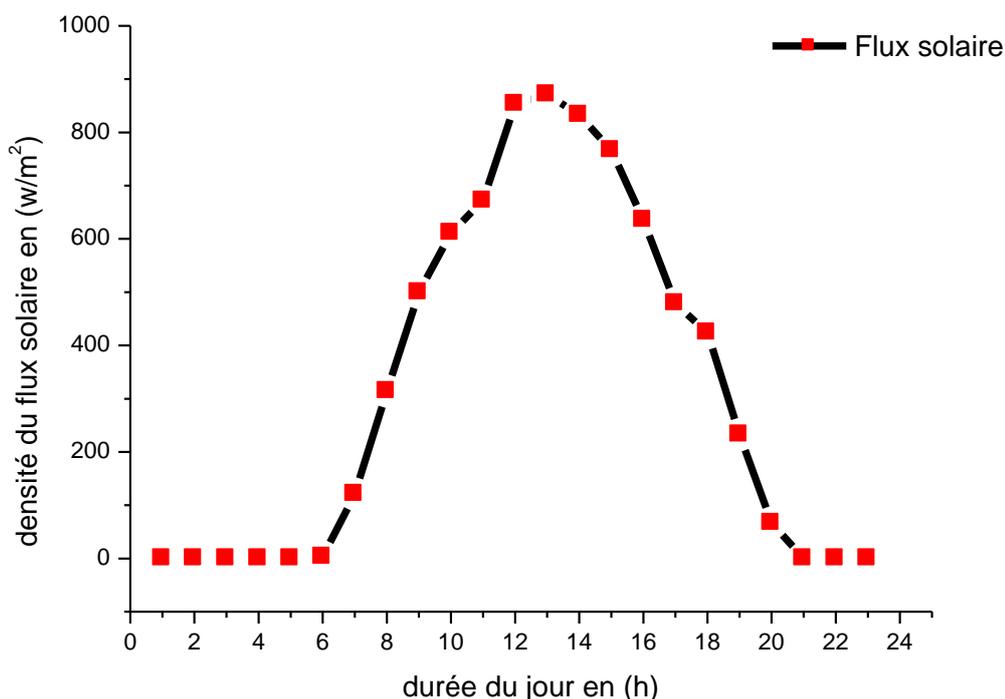


**Fig.32- Evolution de la température ambiante externe dans une journée solaire type.**

#### 4.4. Evolution des paramètres climatologiques

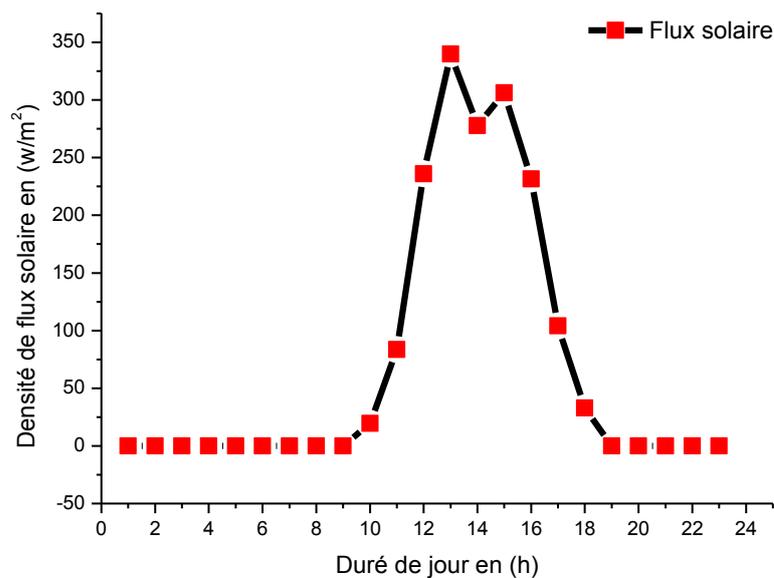
##### 4.4.1. Évolution de la densité du flux solaire

La figure 33 présente l'évolution de la densité du flux solaire de l'ambiante externe de la région de Tissemsilt au mois de juillet pour l'année 2017. On constate que pour ce mois de juillet de l'année 2017 et pendant la période nocturne, la densité du flux solaire est nulle. Pendant la période diurne, elle évolue dans le sens croissant, puisqu'elle passe par un maximum vers 13h00 en temps local, cependant le maximum de la densité du flux solaire pour ce mois est alentour de  $870\text{W/m}^2$  et enregistré à 13h00 en temps local.



**Fig.33-Evolution de la densité du flux solaire dans le mois de juillet pour une journée type dans l'année 2017 à la région de Tissemsilt.**

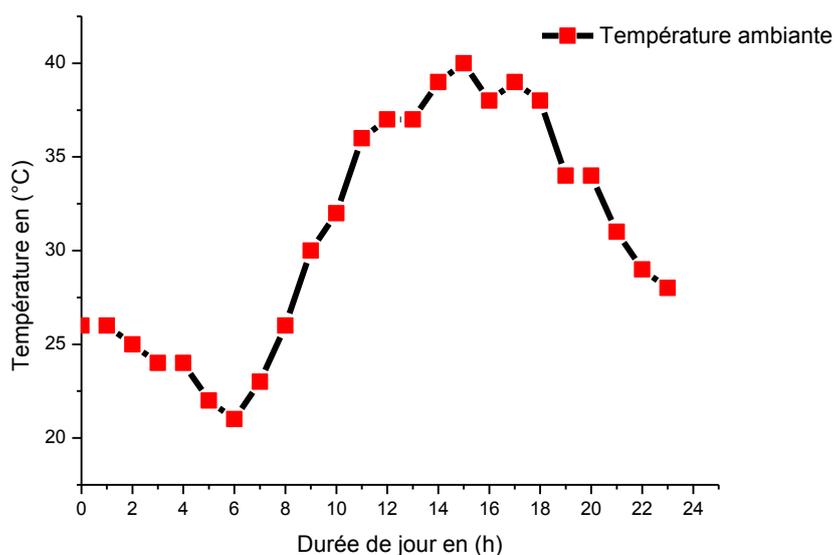
La figure 34 présente l'évolution de la densité du flux solaire ambiant pour le mois de janvier de l'année 2017 dans la région de Tissemsilt. On conclue que pour la période nocturne, l'évolution de la densité du flux solaire est nulle. Alors que pour la période diurne, elle évolue dans le sens croissant, puisqu'elle passe par un maximum de  $310\text{W/m}^2$  vers midi en temps locale, enfin elle décroît jusqu'à devenir nul.



**Fig. 34-Evolution de la densité du flux solaire dans le mois de janvier pour une journée type dans l'année 2017 à la région de Tissemsilt.**

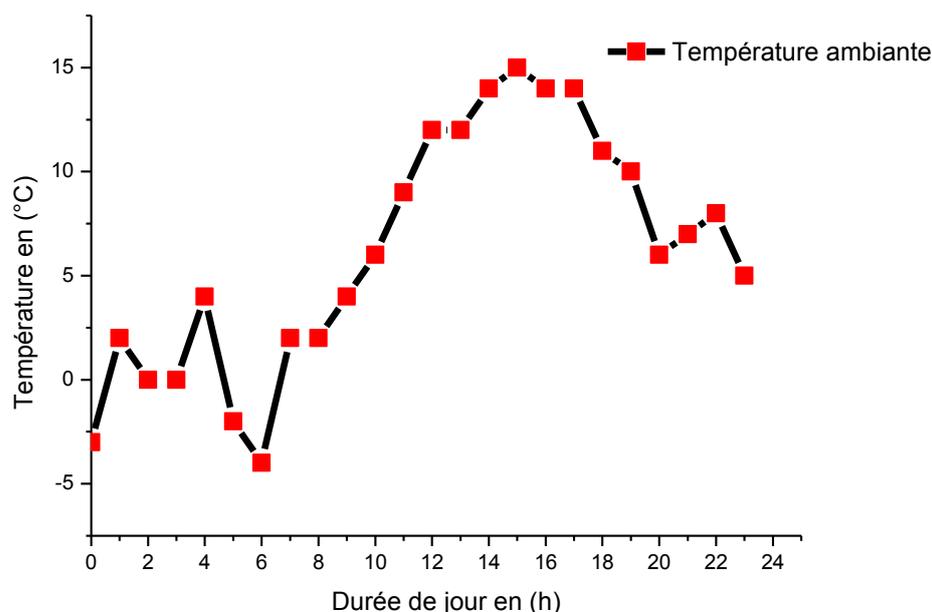
#### 4.4.2. Évolution de la température d'ambiante

Les figures 35 présente l'évolution d'horaire de la température pour une journée type au mois de juillet dans l'année 2017 pour la région de Tissemsilt. On peut constater que l'évolution de la température d'ambiante pour ce mois de juillet est se fait d'une manière progressif de 06h00 de matin à 25°C jusqu'à une valeur maximale de 38°C à 15h00 après midi en temps local.



**Fig. 35- Evolution de la température ambiante au mois de juillet pour une journée type dans l'année 2017 à la région de Tissemsilt.**

La figure 36 présente la variation horaire de la température ambiante au mois de janvier de l'année 2017 dans la région de Tissemsilt. On peut constater que l'évolution de la température d'ambiante au mois de janvier est moine élève par rapport au mois de juillet vu les changements climatiques entre saison vers l'autre. En effet, la température au mois de janvier est attient une valeur maximale de 14°C vers 15h00 en temps locale, par contre sa valeur minimale est de -4°C dans la période nocturne. Ce qui est fait cette région parmi les régions les plus froids en Algérie.

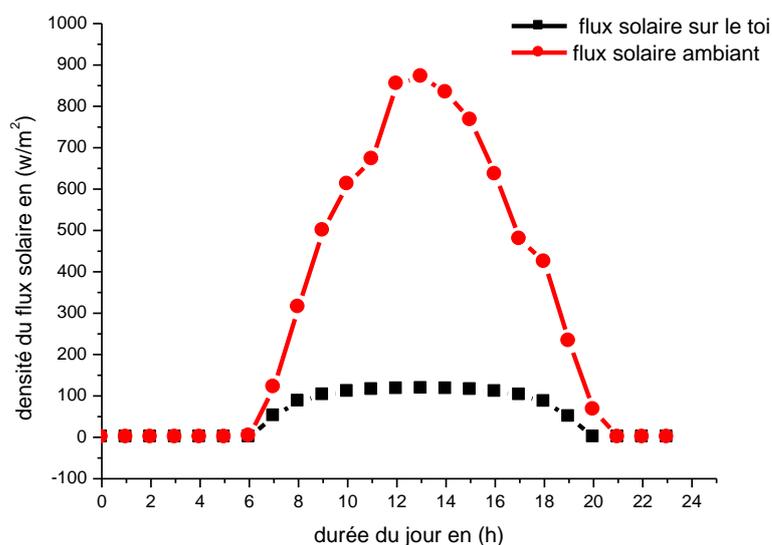


**Fig. 36- Evolution de la température ambiante au mois de janvier pour une journée type dans l'année 2017 à la région de Tissemsilt.**

## **4.5. Analyse des échanges thermiques externes de l'habitat**

### **4.5.1. Evolution du flux solaire incident sur la façade toiture de l'enveloppe habitable**

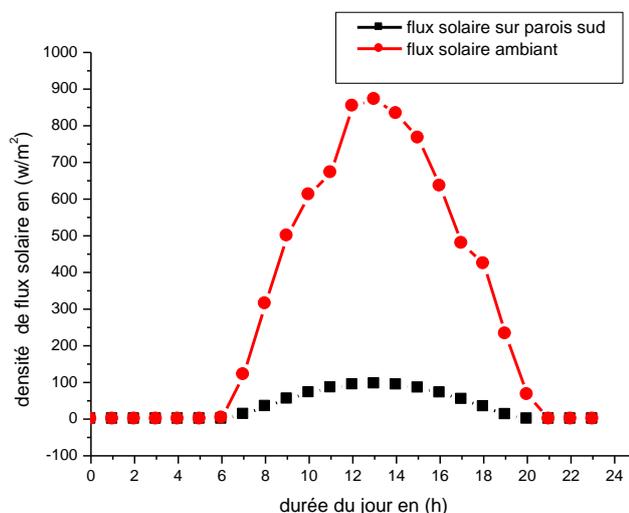
La figure 37 présente l'évolution horaire de la densité du flux solaire incident sur la façade toiture de l'enveloppe habitable pour une journée typique dans le mois de juillet 2017. On constate que l'évolution de la densité du flux solaire incidente sure cette parois est moine élève par rapport à l'évolution du flux solaire ambiant dans le même mois. Cette différence dans l'évolution est due au fait de l'influence de plairais facteurs géométriques et thermiques. En premier lieu : l'angle d'inclinaison du plan, et en deuxième lieu : les propriétés physico-thermiques de la matière car, le passage des rayonnements solaire dans l'air atmosphérique est différent par rapport au passage dans le béton armé.



**Fig.37- Evolution horaire du flux solaire incident sur la toiture de l'enveloppe habitable au mois de juillet 2017 dans la région de Tissemsilt.**

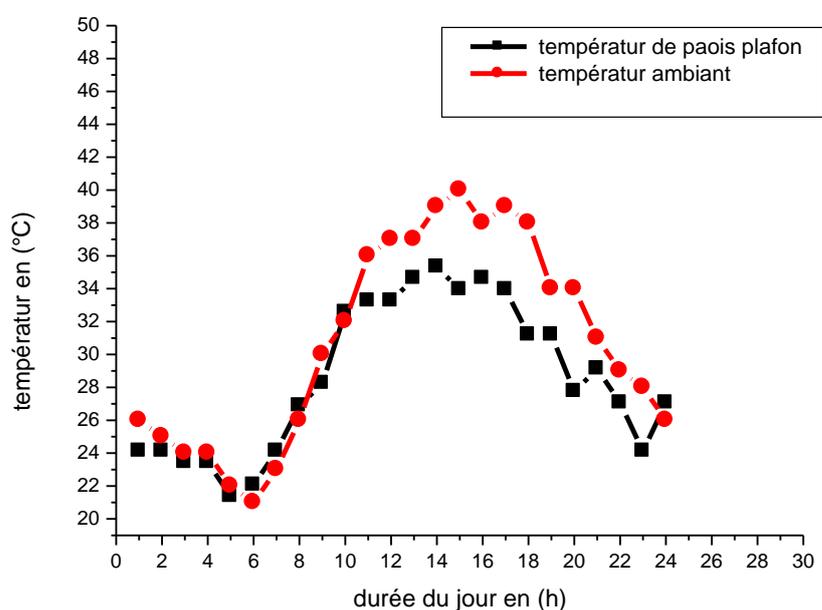
#### 4.5.2. Evolution du flux solaire incident sur la façade sud externe de l'habitable

La figure 38 montre l'évolution horaire de la densité du flux incident sur la façade sud de l'habitat pour une journée typique au mois de juillet 2017. D'après cette figure, on constate que l'évolution du flux solaire de la façade sud est plus faible par rapport à l'évolution du flux solaire ambiant. La plus grande valeur atteint du flux sur la paroi sud est de  $100\text{W/m}^2$  à midi en temps local, par contre la plus petite valeur est enregistrée dans la période nocturne avant 06h00 du matin et après 20h00 du soir.



**Fig.38- Evolution horaire du flux solaire incident sur la façade sud de l'enveloppe habitable au mois de juillet 2017 dans la région de Tissemsilt.**

La figure 39, présente une comparaison entre l'évolution horaire de la température ambiante et l'évolution horaire de la température de la façade toiture de l'habitat au cours de la journée typique du mois de juillet 2017. On peut constater dans un premier temps, que la variation est remarquable dans la période entre 06h30 et 00h00 pour les deux températures décrivant l'échange thermique externes de l'habitat. Dans un second lieu, on peut observer également un écart de température de 6°C entre l'évolution de la température de la face du fond plafond de l'habitat et la température de l'air ambiant à partir de 10h00 matin en temps local. Cet écart température dû au fait des propriétés thermique de la construction de l'habitat.

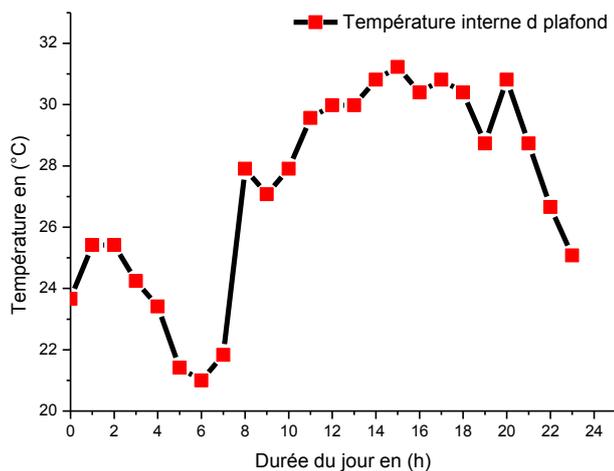


**Fig.39- Evolution horaire de la température de la façade toiture de l'enveloppe habitable au mois de juillet 2017 dans la région de Tissemsilt.**

## **4.6. Analyse des échanges thermiques internes de l'habitat**

### **4.6.1. Evolution de la température de façade interne du fond plafond de l'habitat**

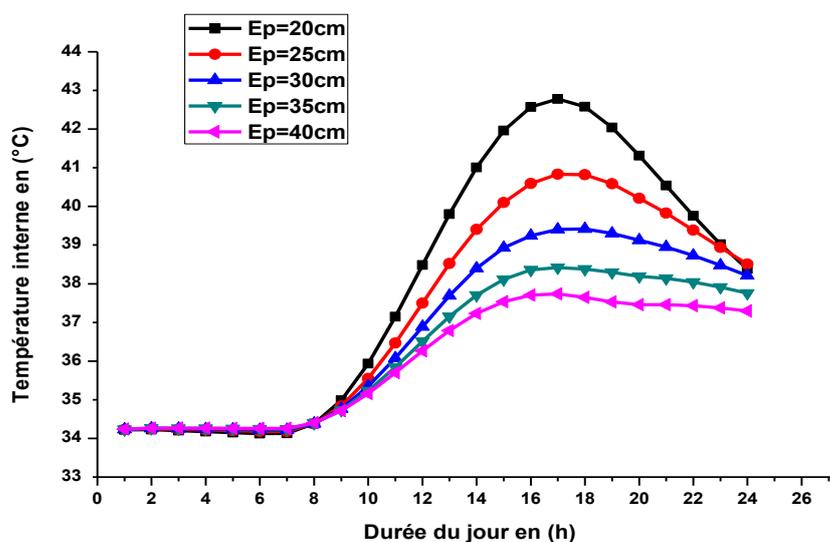
La figure 40 présente une évolution horaire de la température de la façade fond plafond de l'habitat en fonction du temps local pour une journée typique au mois de juillet 2017 dans la région de Tissemsilt. On peut constater que la plus grande valeur atteint par cette évolution est de 31°C à 14h00 en temps local. Par contre la plus petite valeur atteint est de 21°C à 06h00 de matin. En générale, l'évolution de la température du fond plafond est une forme spiroïdale.



**Fig.40- Evolution horaire de la température interne de la façade fond plafond de l'habitable au mois de juillet 2017 dans la région de Tissemsilt.**

#### 4.6.2. Evaluation de la température de l'air interne de l'habitat en fonction de l'épaisseur des parois

Dans la figure 41, nous avons représenté l'évolution journalière de la température ambiante interne en fonction du temps local pour différentes épaisseurs des parois de l'enceinte habitable. On constate que si on augmente l'épaisseur du béton, la température interne de l'enceinte diminue ce qui est noté pour l'épaisseur de  $E_p = 40\text{cm}$ , et au contraire, quand on réduit l'épaisseur, la température augmente ce qui est noté pour l'épaisseur de  $E_p = 20\text{cm}$ . Cette variation de la température interne est due au fait que l'inertie thermique du béton joue un rôle très important dans les échanges thermiques qui se déroulent au sein de l'enceinte habitable.



**Fig.41 - Variation de la température de l'air combe dans une journée solaire type en fonction de l'épaisseur des parois de l'habitat.**

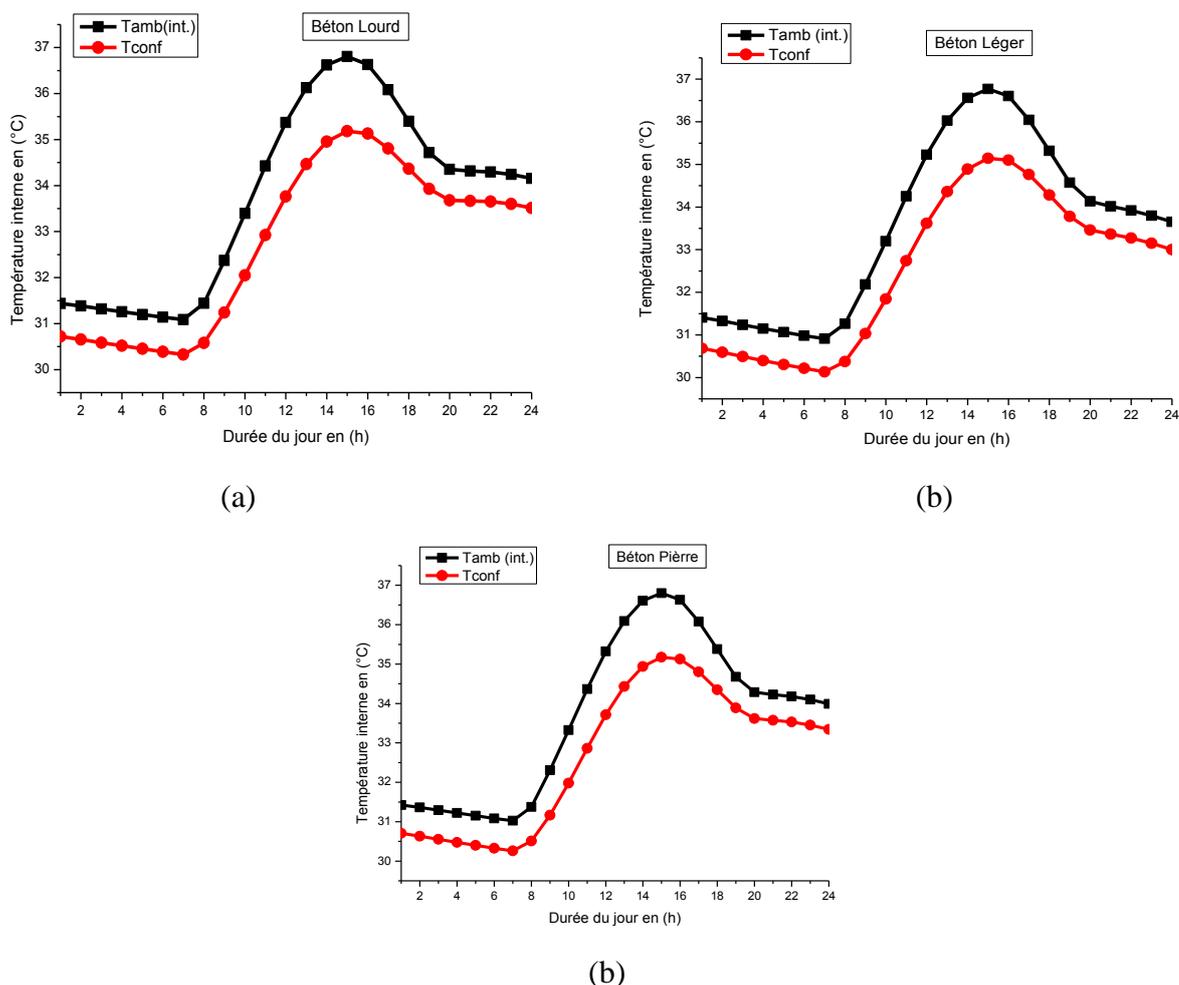
#### 4.7. Evaluation de la température du confort thermique de l'enveloppe habitable

La température du confort thermique est donnée par l'expression suivante ;

$$T_c = \frac{T_{air} + \sum T_{i,j}}{2} \quad (3-66)$$

$$\sum T_{i,j} = TPSI + TPEI + TPOI + TPFPI + TPNI + TPPI \quad (3-67)$$

La figure 42 présente l'évolution de la température du confort thermique d'une enveloppe habitable dans la région de Tissemsilt, chaude pour trois types de matériau de construction tels que le béton lourd (Fig. 42.a), le béton léger (Fig. 42.b) et le béton pierre (Fig. 42.c).

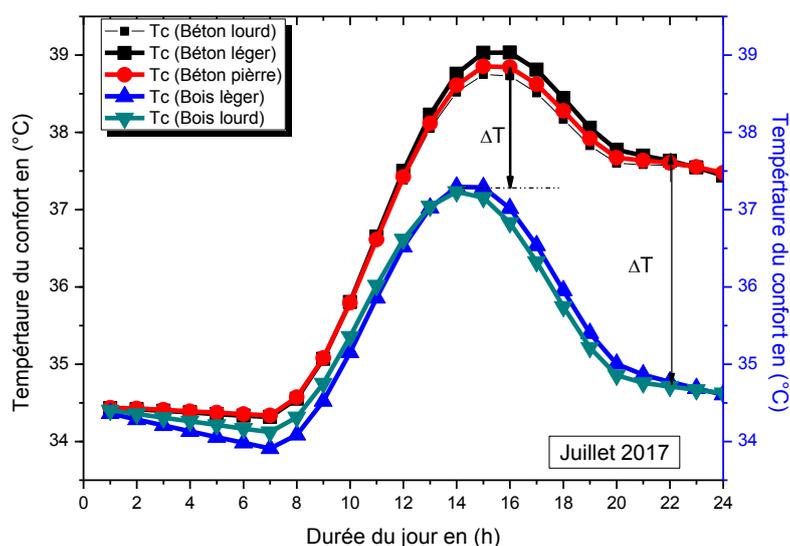


**Fig.42- Evolution de la température du confort thermique et de l'ambiance interne au sien de l'enveloppe habitable pour différentes catégories du béton.**

La figure 43 présente l'évolution horaire de la température du confort thermique pour différents matériaux de construction un espace chauffé en fonction du temps local. D'après cette évolution, en général on peut dire que le choix de matériau de la construction à une influence importante sur l'évolution horaire de la température du confort. En effet, quand on utilise par exemple les différentes catégories du béton comme matériau dans la construction des parois de l'enveloppe habitable avec ces conditions climatologiques secs et son maîtrise d'isolation thermique des parois,

la température du confort va dépasser les normes conventionnelles, c'est-à-dire une surchauffe un désirable dans l'habitat avec une température de 39°C à 15h00 l'après-midi ce qui est bien illustré dans cette figure pour les trois catégories du béton (lourd, léger et Pierre).

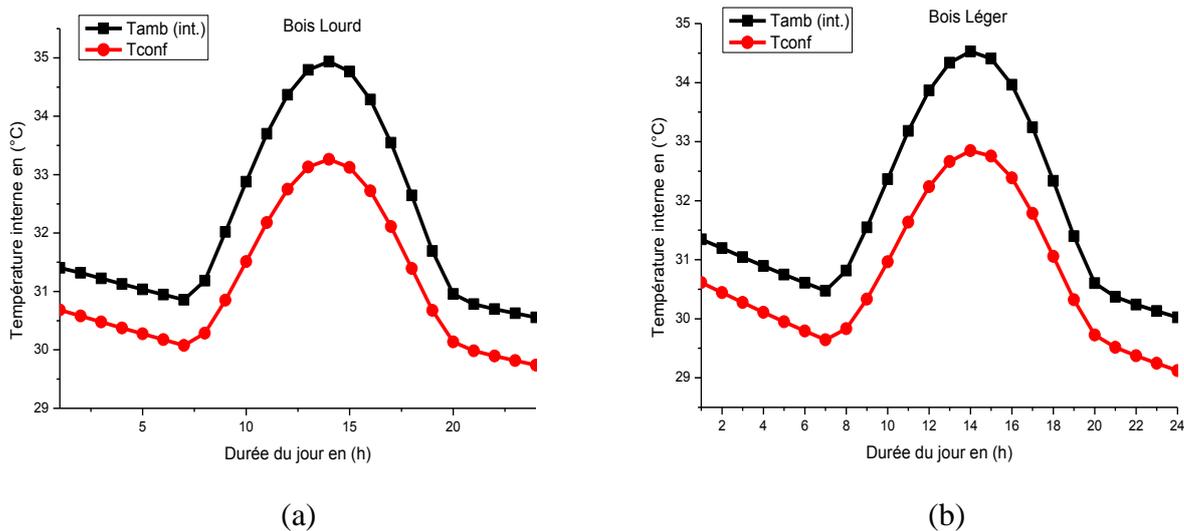
Par contre, l'exploitation de d'autres matériaux de construction comme les catégories du bois (lourd et léger) dans cette région avec ces conditions climatiques, va nous permettre de rapprocher un petit peu des valeurs conventionnelles de la température du confort au sein de l'enveloppe habitable car, l'utilisation de bois dans la construction dans une climat sec et son isolation thermique de la dalle chauffante où pour la dalle de la toiture de l'habitat, va nous conduit à la température de l'inconfort de 37°C à 15h00.



**Fig.43 - Evolution de la température du confort thermique et de l'espace chauffé au sien de l'enveloppe habitable pour différentes catégories de matériaux de construction dans une journée typique de l'année 2017.**

On peut constater que, pour les trois types des matériaux, on ne peut pas obtenir le confort thermique dans l'habitant avec ces conditions climatiques, vu que la température de l'espace chauffé est aux alentours de 35°C et 37°C qui est bien supérieure à celle du confort thermique de 34°C. Pour cette raison, nous étions amenés à tester l'effet d'utilisation du bois sur le confort thermique comme l'illustre la figure 44. D'après cette figure, il est bien observé que la température de l'espace chauffé est proche des normes du confort thermique. En effet, elle est aux environs de 33.8°C pour les deux types de bois (Fig.44.a.b).

En conséquence, pour des raisons de satisfaction thermique, on peut utiliser le bois lourd ou les matériaux composites pour la construction des habitats dans cette région de Tissemsilt. Une évaluation de multicouches est en cours d'investigation.



**Fig.44 - Evolution des températures du confort thermique et de l'ambiance interne au sien de l'enveloppe habitable pour différentes catégories du bois.**

#### 4.8. Conclusion

A partir des résultats présentés dans ce chapitre, on conclut que les modèles numériques développés pour la modélisation des échanges thermiques dans l'enveloppe habitable donnent des valeurs ajoutées dans le domaine de la modélisation des échanges de la chaleur dans les bâtiments. En effet, ces modèles qui peuvent être utilisés pour la prévision du comportement thermique à l'intérieure d'une enceinte habitable dans la région de Tissemsilt.

Nous avons analysé les effets de plusieurs paramètres sur le confort thermique, tels que, les conditions météorologiques en flux et en température extérieurs, l'épaisseur des parois. Les conclusions des résultats obtenus seront exposées en détails dans la conclusion générale de ce travail.

# *Conclusion Générale*

## Conclusion générale

La lutte contre le réchauffement climatique est aujourd'hui primordiale. C'est pourquoi l'utilisation d'énergie renouvelable telle que l'énergie solaire semble avoir un avenir prometteur. Dans ce contexte, ce présent travail a pour objectif d'optimiser les paramètres thermo-physiques afin d'obtenir un confort thermique dans un habitat situé dans la région de Tissemsilt. Il est à noter que cette région a été choisie sur la base de son important potentiel d'énergie.

A partir des résultats obtenus par la simulation numérique, on peut tirer les conclusions suivantes :

- Pour pouvoir garantir une bonne restitution de la chaleur avec une température uniforme toute au long des parois de l'habitat, il faut que cette dernière doit avoir une épaisseur optimale qui lui permet d'augmenter la période de déphasage en augmentant la capacité de stockage.
- Parmi les matériaux de construction examinés numériquement, en l'occurrence, le béton léger, le béton lourd, le bois léger et le bois lourd, nous avons trouvé que, d'un point de vue confort thermique, les meilleurs résultats ont été obtenus par le bois lourd.
- Le confort thermique au sien d'une maison individuelle peut être également amélioré en jouant sur d'autres facteurs thermo-physiques.

## Références bibliographiques

- [1] I. Traore, Transferts de chaleur et de masse dans les parois des bâtiments à ossature bois, thèse de doctorat de l'Université Henri Poincaré – Nancy Université en Mécanique et Energétique, 2011.
- [2] G. Lefebvre, Comportement thermique dynamique des bâtiments : Simulation et analyse, Techniques de l'Ingénieur, traité Génie énergétique, B 2 041 – 1.
- [3] E. Wurtz, Modélisation tridimensionnelle des transferts thermiques et aérauliques dans le bâtiment en
- [4] Françoise THELLIER, Françoise, MONCHOUX Guy SERIN, Les outils d'évaluation du confort thermique, Laboratoire d'Energétique Université Paul Sabatier Février 2003
- [5] Abdellatif OUDRANE, Benaoumeur AOURE, Laboratoire de Biomécanique Appliquée et Biomatériaux (LABAB), Étude numérique d'un écoulement laminaire dans une chaîne tubulaire d'une dalle de plancher chauffant, Février 2018
- [6] Abdellatif OUDRANE, Benaoumeur AOURE1, Belkacem ZEGHMATI3, Xavier CHESNEAU3, Messaoud HAMOUDA, Analyse numérique de transfert thermique unidimensionnel d'une enceinte habitable désertique, Laboratoire de Biomécanique Appliquée et Biomatériaux (LABAB), 06 September 2017
- [7] A. Abdellatif Oudrane B. Zeghmati, X. Chesneau, H. Messaoud, B. Aour Etude et Simulation de la Densité du Flux Solaire Incident sur les Murs d'un Bâtiment à Adrar, Algérie, Laboratoire de Biomécanique Appliquée et de Biomatériaux, Département de Génie Mécanique, ENP Oran, Algérie, 2017
- [8] OUDRANE Abdellatif, ZEGHMATI Belkacem, CHESNEAU Xavier, AOURE Benaoumeur, laboratoire de biomécanique appliqué et biomatériaux (LABAB), BP 1523 el Mnaour, ENP, 31000, Oran, algérie, 7 février 2017
- [9] HAMDANI Maamar, 2011, Etude et Effet de l'Orientation de deux Pièces d'un Habitat en Pierre Situé à Ghardaïa, université Abou-bakr belkaïd – Tlemcen
- [10] H. M'Sellem, D. Alkama, Le confort thermique entre perception et évaluation par les techniques d'analyse bioclimatique - Cas des lieux de travail dans les milieux arides à climat chaud et sec, Université Mohamed Khider, B.P. 145, Biskra, Algérie, accepté le 25 Septembre 2009
- [11] M. Capderou, 1987, Atlas solaire de l'Algérie, Tome 1, Vol. 1 et 2 ; OPU.
- [12] N. Morel et E. Gnansounou, Septembre 2008, énergétique du bâtiment.
- [13] A.Liébard, 2005, Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques, édition Le Moniteur.
- [14] A. Ouameur Fouad, 2007, Morphologie urbaine et confort thermique dans les espaces publics: Etude comparative entre trois tissus urbains de la ville de Québec, Mémoire de Maître ès Sciences (M.Sc) Université Laval Québec.
- [15] B. Aïcha, Corinne Puny, Claire Watenberg, 2005, Règles Thermiques .Master prévention des risques et nuisances technologiques faculté de pharmacie- Marseille.
- [16] Z. Mohamed Hachem, 09/06/2014, Effet de la forme de toiture sur le confort thermique
- [17] Thesis.univ-biskra.dz
- [18] D. SAFFIDINE, 2010, ambient et confort thermique
- [19] D.Herde André, Liébard Alain, 2005, Traité d'Architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable, Éditions du Moniteur, Paris, France, P : 16
- [20] S. Thiers, 2008, Bilans énergétiques et environnementaux de bâtiments à énergie positive, Thèse de doctorat, Ecole nationale supérieure des mines de paris.
- [21] Guide technique de la diffusion d'air, 2006

- [22] Chemillier d'après Vinet Jérôme, 2000, Contribution à la modélisation thermo-aéraulique du microclimat urbain. Caractérisation de l'impact de l'eau et de la végétation sur les conditions de confort en espaces extérieurs, thèse de doctorat, P : 105
- [23] [www.ergonomie.chups.jussieu.fr](http://www.ergonomie.chups.jussieu.fr)
- [24] H. Boivin « la ventilation naturelle Développement d'un outil d'évaluation du potentiel de la climatisation passive et d'aide à la conception architecturale », Mémoire de maîtrise, université Laval Québec, 2007, p 115
- [25] L. Izard, Architectures d'été construire : pour le confort d'été, Edition Edisud, 1994, p141
- [27] M. Mohammed, Septembre 2012, Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public : Cas du département d'Architecture de Tamda (Tizi-Ouzou)
- [28] L. Kaçala, 2008, Le diagramme bioclimatique, Envirobat-Méditerranée, laboratoire abc, Esna-Marseille, téléchargé le 10 Mai 2010 à partir du site <http://www.marseille.archi.fr/~izard/>.
- [29] L. Izard, 1998, Rôle de la végétation dans le microclimat : utilisation de la thermographie, in actes de la conférence EPIC'98 Lyon, France.
- [30] E. Gratia, 1998, Architecture et Climat, Aide théorique Opti-Maisons.
- [31] A. Robert, 2016, L'implantation des bâtiments à usage d'habitation, [en ligne], éditions Vincent, Freal -4, rue des beaux-arts, Paris, p5, format PDF, disponible.
- [32] S. Samy, confort thermique 2, [en ligne], publié le 31 aout 2013, disponible sur : <http://fr.slideshare.net/Saamysaami/confort-thermique-0>, (consulté le 10/12/2016)
- [33] I.Guyot.A. 1979
- [34] Idem:The Indiana Department of Environmental Management
- [35] <https://fr.climate-data.org/location/45067>
- [36] [www.meteoblue.com](http://www.meteoblue.com)
- [37]<https://fr.weatherspark.com/y/45821/M%C3%A9t%C3%A9o-habituelle-%C3%A0-Tissemsilt-Alg%C3%A9rie> Date de la dernière consultation du site 31 décembre 2016
- [38]<http://www.weatherbase.com/weather/weather.php?s=599164&cityname=Tissemsilt%2C+Tissemsilt%2C+Algeria> Date de la dernière consultation du site 31/5/2018.
- [39] <http://dateandtime.info/fr/citycoordinates.php?id=2475860>Date de la dernière consultation du site 25/5/2018.
- [40] <https://en.wikipedia.org/wiki/Tissemsilt>
- [41] M. Mohammed, Septembre 2012, Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public : Cas du département d'Architecture de Tamda (Tizi-Ouzou), Université Mouloud Mammeri de TiziOuzou.
- [42] H. Boivin, 2007, la ventilation naturelle développement d'un outil d'évaluation du potentiel de la climatisation passive et d'aide à la conception architecturale, p103.
- [43] S. Mouhous-CHI, 2012, Etude statistique du rayonnement solaire sur un plan incliné, centre de développement des énergies renouvelables.
- [44] A.EL Ibrahimy, 2014, Etude du rayonnement solaire et des conditions météorologiques de Casablanca et leur intégration dans TRNSYS, et a été reformulé et réinterprété par SAFAR Said et GOUNNI Ayoub.
- [45] <http://ramakilahy.e-monsite.com/pages/content/1-equinoxe-du-printemps.html>
- [46] T.Muneer. 2004, Solar Radiation and Daylight Models. Elsevier Butterworth-Hermann Edition (chapter 1).
- [47] A. Duffle and W.A. Beckman, 2006, 'Solar Engineering of Thermal Processes', 3rd Ed. JohnWiley and Sons.
- [48] M. Iqbal. (1983), Une introduction au rayonnement solaire, Academic Press, New York.
- [49] [https://www.science-on-stage.eu/images/download/iStage\\_1\\_-\\_Dur%C3%A9e\\_du\\_jour.pdf](https://www.science-on-stage.eu/images/download/iStage_1_-_Dur%C3%A9e_du_jour.pdf)
- [50] Détermination des positions géographiques, Gougenheim, A. L'Astronomie, Vol. 68, p.111.

- [51] [http://familypedia.wikia.com/wiki/Geographic\\_coordinate\\_system](http://familypedia.wikia.com/wiki/Geographic_coordinate_system).
- [52] [http://sciencesphysiques.acdijon.fr/astronomie/lexique/lexique\\_astro/c/images/coord\\_horaires.gif](http://sciencesphysiques.acdijon.fr/astronomie/lexique/lexique_astro/c/images/coord_horaires.gif) (22/10/2011).
- [53] B. Fatiha, 2009, ‘‘Contribution a l’analyse de la faisabilité énergétique d’une installation de production de l’eau chaude sanitaire par voie solaire’’. Université de HassibaBenbouali. Chlef.
- [54] J.A. Duffle and W.A. Beckman, 2006, ‘Solar Engineering of Thermal Processes’, 3rd Ed. John Wileyand Sons.
- [55] [https://www.cder.dz/download/Art14-4\\_7.pdf](https://www.cder.dz/download/Art14-4_7.pdf).
- [56] M. Iqbal. (1983), Une introduction au rayonnement solaire, Academic Press, New York.
- [57] T.Muneer.2004, Solar Radiation and Daylight Models. Elsevier Butterworth-Hermann Edition (chapter 4).
- [58] J. Bilbao, A. De Miguel, A. Ayuso, ET J.A. Franco, Juin. 2003, ‘‘Iso-radiation maps for tilted surfaces in the Castile and Leon region, Spain .Energy Conversion and Management, vol. 44, p. 1575-1588.  
[http://sciencesphysiques.acdijon.fr/astronomie/lexique/lexique\\_astro/c/images/coord\\_horaires](http://sciencesphysiques.acdijon.fr/astronomie/lexique/lexique_astro/c/images/coord_horaires), (22/10/2011)
- [59] B. RACHID, 17 avril 2013, Conception et régulation des systèmes fermés de distribution et de circulation de chauffage climatisation. Université AboubekrBelkaide Tlemcen.
- [60] A. Daoud. janvier 2005, Simulation thermique d’un aréna soustransys. Mémoire de Maitrise des sciences spécialité génie mécanique Canada.
- [61] C. Brizard, (1995), Isolation thermique, Paris, Editions FOUCHER, 127 p.
- [62] M. Hamza SQUALLI, 2011, Efficacité énergétique de l’enveloppe du bâtiment, universite mohammed agdal.
- [63] [http://www.lmd.jussieu.fr/~jldufres/publi/1996/Manip\\_Billet\\_1996/Scan/p\\_dossier\\_6.pdf](http://www.lmd.jussieu.fr/~jldufres/publi/1996/Manip_Billet_1996/Scan/p_dossier_6.pdf).
- [64] <http://philippe.berger2.free.fr/Bois/Systemes%20Constructifs/Thermique/thermique%20batiment.htm>
- [65] <http://www.bmchaine.fr/> consulté le dimanche 27 mai 2018.
- [66] N. Chami, 19 octobre 2009, Evaluation de L’impact des Isolants Minces Réfléchissants dans le Bâtiment L’école Nationale Supérieure des Mines de paris.
- [67] [http://biohabitat.free.fr/dossiers/habitat\\_ecobio/habitat\\_bioclimatique/doc/Les\\_proprietes\\_des\\_materiaux.pdf](http://biohabitat.free.fr/dossiers/habitat_ecobio/habitat_bioclimatique/doc/Les_proprietes_des_materiaux.pdf).

## Résumé

Dans ce travail, nous nous intéressons à la modélisation numérique du comportement thermique d'une enceinte habitable dans la région de Tissemsilt afin d'améliorer le confort thermique. Pour atteindre cet objectif, nous avons entrepris la modélisation des équations de transfert de chaleur qui se déroulent dans un modèle de l'enveloppe habitable assimilé à une cavité parallélépipédique ont été pareillement modélisés en utilisant les bilans thermiques établis au niveau de chaque paroi de l'enveloppe et en tenant en compte des échanges thermiques par convection, conduction et rayonnement. Les modèles ainsi échafaudés ont été calibrés avec des données climatiques mesurées récemment dans l'année 2017. Une investigation numérique détaillée des différents paramètres thermiques influencent le confort thermique a été exhibée et discutée. Les résultats obtenus dans le cadre de ce travail ont montré que les conditions climatiques sévères dans cette région représentent une valeur ajoutée dans l'inconfort thermique pour une enveloppe habitable localisée dans la région de Tissemsilt. Des suggestions pour améliorer le confort thermique au niveau de cette région sont proclamées dans cette étude. Ce travail confirme la nécessité de représenter finement les phénomènes physiques pour des locales basses consommations. Des améliorations sont à intégrer, comme la description de l'anis thermie de l'air intérieur.

*Mots clés*— Confort thermique; Région Tissemsilt; Données climatiques ; Transfert thermique.

## Abstract

In this work, we are interested in the numerical modeling of the thermal behavior of a habitable enclosure in the region of Tissemsilt in order to improve the thermal comfort. To achieve this goal, we have undertaken the modeling of the heat transfer equations that take place in a model of the habitable envelope assimilated to a parallelepiped cavity have been similarly modeled using the thermal balances established at each wall of the envelope and taking into account thermal exchanges by convection, conduction and radiation. The models thus scaffold were calibrated with climatic data measured recently in the year 2017. A detailed numerical investigation of the various thermal parameters influencing the thermal comfort was exhibited and discussed. The results obtained in the framework of this work have shown that the severe climatic conditions in this region represent an added value in the thermal discomfort for a habitable envelope located in the region of Tissemsilt. Suggestions for improving thermal comfort in this region are proclaimed in this study. This work confirms the need to represent the physical phenomena finely for local low consumption. Improvements are to be incorporated, such as the description of the thermique anise of indoor air.

Keywords - Thermal comfort; Tissemsilt Region; Climate data; Thermal transfer.

## ملخص

في هذا العمل ، نحن مهتمون بالنمذجة العددية للسلوك الحراري لمنزل صالح للسكن في منطقة تيسمسيلت من أجل تحسين الراحة الحرارية. ولتحقيق هذا الهدف ، قمنا بإجراء نمذجة معادلات نقل الحرارة التي تحدث في نموذج من المنزل القابل للسكن الذي تم استيعابه إلى تجويف متوازي الأضلاع وقد تم نمذجته بطريقة مماثلة باستخدام الأرصاد الحرارية الموضوعية على كل جدار من المنزل مع الأخذ بعين الاعتبار تبادل الحرارة عن طريق الحمل والتوصيل والإشعاع. تم معايرة النماذج التي تم تعديلها على هذا النحو مع البيانات المناخية التي تم قياسها مؤخرًا في عام 2017. تم عرض ومناقشة بحث عددي تفصيلي للعديد من المعلمات الحرارية التي تؤثر على الراحة الحرارية. وقد أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها في إطار هذا العمل أن الظروف المناخية القاسية في هذه المنطقة تمثل قيمة مضافة في عدم تحقق الراحة الحراري لمنزل صالح للسكن يقع في منطقة تيسمسيلت. يتم الإعلان عن اقتراحات لتحسين الراحة الحرارية في هذه المنطقة في هذه الدراسة. يؤكد هذا العمل على ضرورة تمثيل الظواهر الفيزيائية من أجل الاستهلاك المنخفض المحلي. يجب إدخال تحسينات ، مثل وصف اليانسون الحراري للهواء الداخلي.

الكلمات الرئيسية - الراحة الحرارية, منطقة تيسمسيلت, بيانات المناخ, النقل الحراري