

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

## **Analyse paramétrique de l'influence du comportement thermique d'un homme sur son confort habitable**

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 : ALLA Elbey

Signature: .....

Date: .....

Membres du jury

Dr . FRNINI. B	(Président)
M . TRARI .T	(Examineur)
Dr . OUDRANE Abdellatif	(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 **FERNINI B.** et à Monsieur **TRARI T.** 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.

# Sommaire

**Remerciement**

**Dédicace**

**Liste des figure**

**Liste des tableaux**

**Nomenclature**

**Symboles**

**Abréviation**

**Introduction général**

Chapitre 1 : Gisement solaire dans la région Bouzaréah.....	19
1 Introduction.....	19
1.1 Les énergies renouvelables.....	20
1.1.1 La biomasse.....	20
1.1.2 L'éolien.....	20
1.1.3 La géothermie.....	21
1.1.4 Le solaire l'énergie.....	21
1.2 L'énergie solaire reçue sur Terre:.....	22
1.2.1 Distance Terre-Soleil.....	22
1.3 Repérage et mesures d'enseillement.....	23
1.3.1 Repérage du soleil dans le ciel.....	23
1.3.2 Position du soleil et angles solaires.....	24
1.3.3 Longitude.....	24
1.3.4 Latitude.....	25
1.3.5 Déclinaison solaire $\delta$ .....	25
1.3.6 Angle horaire.....	27
1.3.7 Position du soleil.....	27
1.3.8 Durée du jour.....	28
1.4 Les cinq temps.....	29
1.4.1 Equation du temps.....	29
1.4.2 Temps universel.....	29
1.4.3 Temps Solaire vrai H/et Temps Solaire Moyen Hm.....	30
1.4.5 Temps solaire local.....	30
1.5 Mouvement de la terre.....	30
1.5.1 Repère horizontal.....	31
1.5.2 Azimut du soleil ( $\epsilon$ ):.....	32
1.5.3 Hauteur du soleil ( $\alpha$ ):.....	32
1.5.4 Mouvement de rotation.....	32

1.6 Le rayonnement solaire : .....	32
1.6.1 Rayonnement solaire .....	32
1.6.2 Mesure des rayonnements solaires : .....	33
1.6.2.1 Fraction d'insolation $\sigma$ .....	33
1.6.3 Le rayonnement solaire direct et le rayonnement global:.....	34
1.6.4 Rayonnement diffus $I_d$ .....	35
1.6.5 Rayonnement réfléchi $I_r$ .....	35
1.6.7 Rayonnement solaire et matière .....	36
1.8 Le rayonnement hors atmosphère-Constante solaire.....	36
1.9 Le gisement solaire en Algérie.....	37
<b>Chapitre 2 : Potentiel énergétique de Bouzaréah.....</b>	<b>40</b>
1. Introduction .....	40
1.1 Patrimoine architectural .....	41
1.2 Caractérisation expérimentale radiométrique des sites de Bouzaréah.....	42
1.2.1 L'insolation .....	42
1.3 Potentiel solaire de Bouzaréah : .....	42
1.3.1 La position de soleil dans la région de Bouzaréah .....	42
1.3.2 Le Centre de Développement des Énergies Renouvelables (CDER) .....	44
1.4 Analyse potentiel énergétique de Bouzaréah : .....	45
1.4.1 Evolution de température moyenne ambiante de Bouzaréah .....	45
1.4.2 Evolution de température ambiante maximale et minimale de mois de janvier.....	45
1.4.3 Evolution de température ambiante maximale et minimale de mois juillet de Bouzaréah .....	46
1.4.4 Evolution des humidités relatives moyenne .....	46
1.4.5 Evolution de l' humidité relative maximale et minimael .....	47
1.4.6 Evolution de la vitesse de vent .....	48
1.4.7 Evolution d'irradiation globale pour les deux saisons l'Hiver et Été.....	49
<b>Chapitre 3 : Méthodes et modélisation du confort thermique .....</b>	<b>51</b>
1 Introduction .....	51
1.1 Méthode nodale.....	51
1.2 Définition du confort.....	53
1.2.1 Climat confort et santé de l'homme .....	53
1.2.2 Le confort dans l'habitat : .....	54
1.3 Mode de transfert thermique .....	54
1.3.1 Echanges de chaleur .....	54
1.3.2 Echanges de chaleur sensible .....	55
1.3.2.1 Convection .....	56
1.3.2.2 Conduction .....	58
1.3.2.3 Rayonnement solaire:.....	59

1.3.2.4 L'évaporation .....	61
3.3.2.5 L'évaporation cutanée : .....	62
1.4 Les influences de comportement thermique de l'homme sur le confort .....	63
1.4.1 Influence de facteur de respiration .....	63
1.4.2 Influence de l'état de repos .....	64
1.4.3 L'influence de l'activité d'homme .....	64
1.4.4 Influence de vêtement .....	65
1.5 Facteurs ayant une incidence sur le confort thermique .....	67
1.5.1 Paramètres liés à l'ambiance .....	68
1.5.1.1 Température ambiante ( $T_a$ ) .....	68
1.5.1.2 Température des parois .....	68
1.5.1.3 Humidité relative $R_r$ .....	69
1.5.1.4 Vitesse de l'air .....	69
1.5.2 Paramètres liés aux gains thermiques internes : .....	69
1.5.3 Paramètres liés à l'individu .....	70
1.5.3.1 Vêtue .....	70
1.6 Classification des indices de confort .....	71
1.6.1 Indices de confort directs .....	71
1.6.2 Indices de confort dérivés des directs (qui proviennent des Indices de confort directs) .....	71
1.6.2.1 Température moyenne radiante .....	71
1.6.2.2 Température équivalente .....	71
1.6.2.3 Température opérative : .....	72
1.7 Le métabolisme énergétique .....	72
1.7.1 La dépense énergétique totale .....	73
1.7.2 Régulation de la température du corps humain .....	74
1.8 Les effets thermiques sur l'homme .....	75
3.9 Outils graphique d'évaluation du confort thermique .....	75
1.9.1 Diagramme bioclimatique : .....	75
1.9.2 Diagramme de Givoni : .....	76
1.10 Le model physique .....	77
1.10.1 Condition aux limites du model physique : .....	78
1.11 Le bilan thermique en générale .....	78
Conclusion .....	82
<b>Chapitre 4 : Résultats et discussion .....</b>	<b>84</b>
1. Introduction .....	84
1.1 Les données climatiques de bouzaréaha : .....	84
1.1.1 Analyse de la température et le flux solaire de la journée typique 01 Janvier .....	84
1.1.2 Analyse de la température et le flux solaire de la journée typique 06 Janvier .....	85

1.1.3 Analyse de la température et le fulx solaire de la journée typique 15 Janvier .....	85
1.1.4 Analyse de la température et le fulx solaire de la journée typique 24 Janvier .....	86
1.1.5 Analyse de la température et le fulx solaire de la journée typique 31 Janvier .....	87
1.1.6 Un comparaison entre le flux solaire pour les journées typique ou mois janvier 2017 .....	88
1.1.7 Un comparaison entre les température ambiante pour les journées typique ou mois janvier 2017 .....	88
1.1.8 Analyse de la température et le fulx solaire de la journée typique 01 Juillet .....	89
1.1.9 Analyse de la température et le fulx solaire de la journée typique 06 Juillet .....	89
1.1.10 Analyse de la température et le fulx solaire de la journée typique 15 Juillet .....	90
1.1.11 Analyse de la température et le fulx solaire de la journée typique 24 Juillet .....	90
4.1.12 Analyse de la température et le fulx solaire de la journée typique 31 Juillet .....	91
4.1.14 Un comparaison entre la température ambiante pour les journées typique ou mois Juillet 2017 .....	92
1.1.15 Analyse de la densité du flux solaire global horizontal pour tout les parois pour mois janvier .....	93
1.1.16 Un comparaison entre toutes les parois pour le journée typique ou mois janvier 2017 .....	94
1.1.17 Un comparaison entre tout les parois pour le journée typique ou mois juillet 2017 .....	94
1.2. Analyse de la température interne de la journée typique au mois de janvier 2017. ....	95
1.2.4 Analyse de la température interne de la journée typique au mois de juillet 2017. ....	97
1.3 Conclusion.....	98
<i>Conclusion Générale</i> .....	99
Conclusion général.....	100
Biographique.....	102
Résumé.....	105

## Liste des figures

Fig. 1- Carte du monde de l'enseillent moyen annuel.....	19
Fig . 2- Rapports géométriques : soleil-terre .....	23
Fig. 3 - Les coordonnées terrestres d'un lieu donné.....	23
Fig .4 - Mouvement du soleil .....	24
Fig. 5 - Latitude. Longitude.....	25
Fig . 6 - Déclinaison solaire.....	26
Fig. 7 - Repère équatorial .....	27
Fig . 8 - Le schéma suivant montre la course du soleil dans le ciel d'une ville de l'hémisphère nord .....	28
Fig. 9 - Déclinaison terrestre et les différentes saisons de l'année.....	31
Fig .10 – Repère horizontal .....	31
Fig .11 – Rayonnement direct et diffus : différents chemins .....	33
Fig.12 - Rayonnement Diffus .....	35
fig.13 - Moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue sur une surface horizontale .....	37
Fig .14 - Communes limitrophes de Bouzaréah .....	40
Fig.15 - Carte de localisation de la site Bouzaréah, Algérie .....	41
Fig .16 - Photos architecture de la région Bouzaréah.....	41
Fig. 17 - Evolution de la position du soleil d'un azimut et élévation d'une région Bouzaréah .....	43
Fig. 18 - Evolutions des températures moyenne mois janvier et juillet 2017 .....	45
Fig. 19 - Evolutions de température maximale et minimale ou mois janvier 2017 .....	45
Fig. 20 - Evolutions des températures maximale et minimale dans mois juillet 2017.....	46
Fig. 21 - Distribution des paramètres d'humidité relative moyenne pour les mois de janvier et juillet 2017 .....	46
Fig. 22 - Distribution des paramètres d'humidité relative mois de janvier 2017.....	47
Fig. 23 - Distribution des paramètres d'humidité relative maximal et minimal mois de juillet 2017 .....	47
Fig. 24 – Profile de l'évolution de la vitesse moyenne du vent en janvier et juillet.....	48
Fig. 25 - Evolution d'irradiation global pour les différentes mois janvier et juillet 2017.....	49
Fig. 26 – Réseau « thermoélectrique » lié à la méthode nodale .....	52
Fig. 27 - le cycle de confort thermique .....	53
Fig. 28- enchainement des divers phénomènes intervenant dans la caractérisation du confort thermique.....	55
Fig.29 – L'interaction thermique entre le corps humain et son environnement.....	56
Fig.30- Irradiance solaire spectrale déterminée à partir de SMARTS .....	60
Fig. 31- Charge thermique solaire chez l'homme. Seule une partie du rayonnement solaire parvient jusqu'à la peau et chauffe le corps .....	64



Fig .32 - Variation de la température centrale en fonction du niveau d'activité.....	65
Fig. 33 - valeurs exprimées en Clo des tenues vestimentaires .....	70
Fig . 34 - les dépense énergétique d'un corps humain .....	74
Fig. 35 - diagramme bioclimatique .....	75
Fig. 36 - Zones de confort selon le diagramme bioclimatique de Givoni .....	76
Fig . 37 – Description du modèle de l'enveloppe habitable étudiée. ....	77
Fig. 38 – vue de face .....	77
Fig . 39 – vue de dessus.....	77
Fig . 40 - Schéma descriptif des différents modes d'échanges thermiques dans l'enceinte habitable. .....	79
Fig .42 - Evolution de la densité du flux solaire global horizontal au cours de la journée 01 janvier. .....	84
Fig .41 - Evolution de la température ambiante externe au cours de la journée 01 janvier. ....	84
Fig . 44 - Evolution de la densité du flux solaire global horizontal au cours de la journée 06 janvier .....	85
Fig . 43 - Evolution de la température ambiante externe au cours de la journée 06 janvier. ....	85
Fig .46 - Evolution de la densité du flux solaire global horizontal au cours de la journée 15 janvier. .....	86
Fig . 45 - Evolution de la température ambiante externe au cours de la journée 15 janvier. ....	86
Fig . 48 - Evolution de la densité du flux solaire global horizontal au cours de la journée 24 janvier. .....	86
Fig . 47 - Evolution de la température ambiante externe au cours de la journée 24 .....	86
Fig . 49 - Evolution de la densité du flux solaire global horizontal au cours de la journée 31 janvier. .....	87
Fig . 50 - Evolution de la température ambiante externe au cours de la journée 31 janvier . ....	87
Fig . 51 - Evolution horaire de la densité du flux solaire pour les cinq journées dans mois janvier. .....	88
Fig . 52 - Evolution de la température ambiante externe au cours des cinq jours dans le mois janvier .....	88
Fig . 54 - flux solaire global horizontal au cours de la journée 01 Juillet. ....	89
Fig . 53 - Evolution de la température ambiante externe au cours de la journée 01 Juillet .....	89
Fig . 56 - Evolution de la température ambiante externe au cours de la journée 06 Juillet .....	89
Fig . 55 - Evolution de la température ambiante externe au cours de la journée 06 Juillet.....	89
Fig . 58 - Evolution de la densité du flux solaire global horizontal au cours de la journée 15 Juillet. .....	90
Fig . 57 - Evolution de la température ambiante externe au cours de la journée 15 Juillet .....	90
Fig .60 - Evolution de la densité du flux solaire global horizontal au cours de la journée 24 Juillet. .....	90

Fig . 59 - Evolution de la température ambiante externe au cours de la journée 24 Juillet .....	90
Fig . 61 - Evolution de la température ambiante externe au cours de la journée 31 Juillet .....	91
Fig .62 - Evolution de la densité du flux solaire global horizontal au cours de la journée 31 Juillet. .....	91
Fig . 63 - Evolution de la température ambiante externe au cours des cinq jours dans le mois Juillet .....	92
Fig . 64 - Evolution horaire de la densité du flux solaire pour les cinq journées dans mois Juillet	92
Fig. 66 - Évolution de la densité du flux solaire incident sur la façade incliné Est (90°) en fonction du temps solaire pour 15 janvier2017 .....	93
Fig. 65 - Évolution de la densité du flux solaire incident sur la façade incliné Nord(90°) en fonction du temps solaire pour 15 janvier2017 .....	93
Fig. 68 - Évolution de la densité du flux solaire incident sur la façade incliné Ouest (90°) en fonction du temps solaire .....	93
Fig. 67 - Évolution de la densité du flux solaire incident sur la façade incliné Sud (90°) en fonction du temps solaire pour 15 janvier2017 .....	93
Fig . 69 -Evolution des densités des flux solaires incidents pour les différentes parois de l'enveloppe habitable localisée à Bouzaréah au cours de la journée typique L'hiver .....	94
Fig . 70 -Evolution des densités des flux solaires incidents pour les différentes parois de l'enveloppe habitable localisée à Bouzaréah au cours de la journée typique Eté .....	94
Fig . 71 - Variation de la température interne en fonction de la respiration dans une journée typique au mois de janvier.....	95
Fig . 72 - Variation de la température interne en fonction de l'état du repos de l'homme dans une journée typique au mois janvier 2017. ....	95
Fig.- 73- Variation de la température interne en fonction de la quantité de la chaleur du au état d'activité de l'homme dans une journée typique au mois de janvier 20107. ....	96
Fig . 75 - Variation de la température interne en fonction de l'état du repos de l'homme dans une journée typique au mois juillet 2017. ....	97
Fig . 74 - Variation de la température interne en fonction de la respiration dans une journée typique au mois de juillet 2017. ....	97
Fig . 76 - Variation de la température interne en fonction de la quantité de la chaleur du au état d'activité de l'homme dans une journée typique au mois de juillet 20107. ....	97

## Liste des Tableaux

Tableau .1 – Répartition spectrale du rayonnement thermique.....	33
Tableau. 2 - Valeurs typiques de L'albédo du sol.....	36
Tableau .3 - Potentiel de l'énergie en Algérie .....	38
Tableaux .4- la position du soleil d'une localisation Bouzaréah.....	43
Tableaux.5- les cordonnés d'un localisation de Bouzaréah .....	44
Tableau. 6 - coefficient de convection en fonction de la vitesse de l'air .....	57
Tableau .7 - Facteur de correction a apporter au calcul de la surface corporelle participant aux échanges thermiques par convection, d'après .....	58
Tableau .8 - Surface corporelle participant aux échanges par rayonnement en fonction de la posture .....	61
Tableaux.9 - Production de chaleur en fonction de l'activité.....	65
Tableaux. 10 - Vêtements individuels et leurs valeurs d'isolation efficaces (Iclu, i, clo). Ensemble des valeurs d'isolation intrinsèques sont dérivées en additionnant les valeurs isolantes effectives des vêtements.....	66
Tableaux. 11 - Valeurs des ensembles de vêtements typiques.....	66
Tableau .12- valeurs de référence de température de l'air .....	68
Tableau .13 - Génération typique de chaleur métabolique pour diverses .....	73
Tableau. 14- les seuils de bien-être thermique .....	75
Tableaux. 15 les dimensionnements de module physique .....	78
Tableaux. 16 les dimensionnement de model physique .....	78

## Nomenclature

$a$	Azimut soleil	-
$C_p$	Chaleur spécifique	$J.Kg^{-1}.K^{-1}$
$C_{th}$	Capacité thermique	J/K
$D_0$	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
$e_k$	Epaisseur	m
$e_i$	Coefficient d'exposition au vent	-
$F_{surf-i}$	Facteur de forme géométrique	-
$F_{cl}$	Facteur d'habillement	-
$f$	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	$W.m^{-2}$
$L^3$	Longueur caractéristique	m
$L$	Longueur	m
ki	Conductivité thermique de l'isolant	W/m.K
$M_f$	Nombre des pas d'espace dans le Domain du fluide	-
$P$	Pression	Pas
Pr	Nombre de Prandtl	-
$q_{conv,inf}$	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
$S$	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	°C
$T_2$	Température de sortie de fluide	°C
$T_{air}$	Température de l'air	°C
$T_{ciel}$	Température de ciel	°C
$T_{int}$	Température interne	°C
$T_{sol}$	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
$V_{vent}$	Vitesse moyenne du vent	m.s <sup>-1</sup>
$V$	Volume	m <sup>3</sup>

## Symboles

$\alpha$	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	-
$F_{A1-A2}$	Facteur de forme pour deux parois	-
$\varphi$	Latitude de lieu	(°)
$\lambda$	Longitude de lieu	(°)
$\lambda_i$	Conductivité thermique de matériau (i)	W.m <sup>-1</sup> .k <sup>-1</sup>
$\mu$	Viscosité dynamique	Kg.m <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup>
$\nu$	Viscosité cinématique	m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>
$\rho$	Masse volumique	Kg.m <sup>-3</sup>
<i>Albédo</i>	Coefficient de réflexion du sol	-
$\sigma$	Constante de Stefan-Boltzman	W.m <sup>-2</sup> .k <sup>-4</sup>
$\omega$	Angle horaire	(°)

## **Abréviation**

PS	Paroi Sud
PN	Paroi Nord
PE	Paroi Est
PO	Paroi Ouest
PPF	Paroi fond plafond
IPS	Paroi Sud interne
IPN	Paroi Nord interne
IPE	Paroi Est interne
IPO	Paroi Ouest interne
IPFPI	Paroi fond plafond interne
EPS	Paroi Sud externe
EPN	Paroi Nord externe
EPE	Paroi Est externe
EPO	Paroi Ouest externe
EPFP	Paroi fond plafond externe
TIR	Température interne pour le cas repos
TIRS	Température interne pour le cas de la respiration
TIA	Température interne pour le cas active
DER	Dépense Energétique de Repos
DET	Dépense Energétique de Travail
CDER	Centre de Développement des Énergies Renouvelables
FSGH	Flux Solaire Globale Horizontale

# *Introduction Générale*

## Introduction général

Les physiologies n'ont pas attendu ces dernières années pour s'intéresser à la machine thermique humaine, mais l'aspect médical est celui qui était principalement retenu. Les recherches effectuées l'ont souvent été dans des conditions particulières d'ambiances pour des raisons de connaissance des limites de résistance de l'être humain amené à faire des travaux dans ces ambiances. Aussi convient-il de regrouper ces recherches en tenant compte de leurs spécificités afin d'établir l'ensemble des conditions qui sont associées à des situations de confort.

Les études concernant les économies d'énergies dans l'habitat conduisent indubitablement à se préoccuper du confort thermique de l'être humain. Pourtant, il semble que pour beaucoup de concepteurs, la qualité radiative des ambiances soit ignorée et qu'une valeur de 190 pour la température d'air soit la seule préoccupation de leurs programmes. Des recherches sur les ambiances radiatives et des expériences s'y rapportant ont pourtant été faites afin de montrer que le confort pouvait être obtenu diversement et éventuellement plus économiquement qu'en se limitant à imposer une valeur pour la température d'air.

La notion de confort thermique est le plus souvent appliquée à l'être humain, bien qu'elle puisse s'appliquer à tout être vivant. En effet, la vie - et spécialement l'activité métabolique assurant les fonctions vitales - n'est possible que dans une certaine plage de température, qui varie d'une espèce à l'autre. Il existe cependant des conditions d'ambiance optimales qui seront ressenties par l'individu comme celle d'un état de confort thermique.

C'est l'objet du travail ci-après qui, sous un aspect « thermique » résume l'analyse critique de nombreux travaux. La complexité de la machine humaine, qui fait appel à des processus d'échanges divers, des systèmes de protection et de défense, est telle qu'il a fallu séparer ce sujet en deux et ne traiter ici que des climats tempérés. Le cas des climats chauds, très différent quant aux réactions de l'être humain, fera l'objet d'une autre publication.

Il serait vain de vouloir donner à ces expressions des définitions rigides, car il s'agit d'éléments essentiellement subjectifs. Nous pensons que l'on peut se baser sur le fait qu'un individu considérera qu'il est placé dans des conditions confortables lorsqu'il lui est facile de concentrer ses facultés sur son occupation du moment, travail physique, intellectuel, repos, éveillé ou même sommeil. On voit qu'un très grand nombre d'éléments entrent en ligne de compte,

Le corps humain ne peut absorber de la chaleur, bien au contraire: il doit constamment dissiper sa chaleur propre et ceci aussi rapidement qu'il la produit. Il s'ensuit que dans les ambiances froides que la perte de cette chaleur sera la plus rapide tandis que dans un local chaud, le seul moyen de pallier les effets nuisibles d'un mauvais échange thermique serait celui d'assurer un



mouvement adéquat de l'air ambiant pour accélérer les échanges cutanés et partant, aider le corps à se débarrasser de l'excès de chaleur acquise.

Le présent mémoire est structuré en quatre grands chapitres en plus d'une conclusion générale et des perspectives. Le premier chapitre est pour les notions fondamentales du gisement solaire et les principales formules générales exprimant des rayonnements solaires sur un plan d'orientation quelconque sont également présentées.

Deuxième chapitre est déduire pour a synthèse bibliographique sur le potentiel énergétique de la région de Bouzaréah nous a vans présent les caractéristiques géographique et climatique de la région de Bouzaréah, Centre de Développement des Énergies Renouvelables l'énergie en se basant sur le centre CDER

Le troisième chapitre est consacré aux les méthodes numériques de la modalisation du confort thermique, le comportement thermique du corps humain ainsi que les notions de base du transfert thermique du bâtiment.

Le quatrième et dernier chapitre est réservé à l'interprétation des résultats obtenus par la simulation numérique.

Enfin, une conclusion générale avec des perspectives sur les travaux à développer.

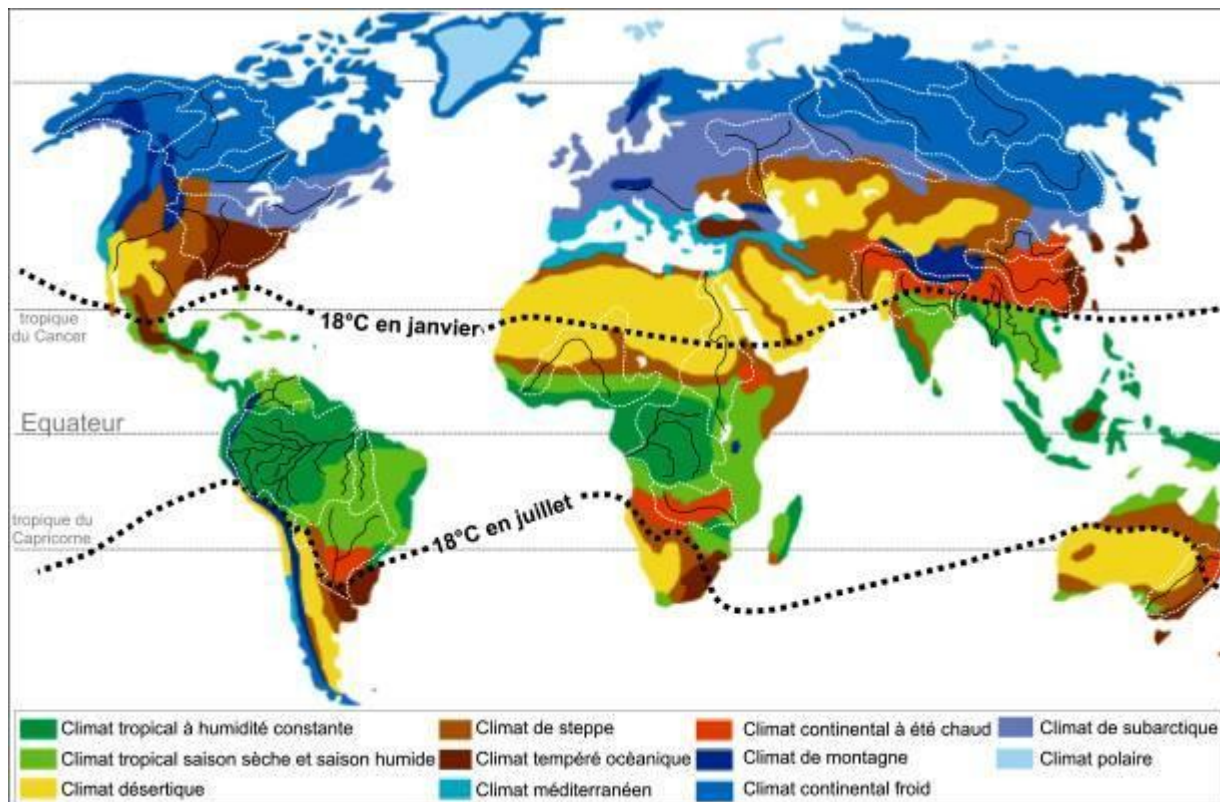
# ***CHAPITRE 01***

## ***Gisement solaire dans la région Bouzaréah***

## Chapitre 1 : Gisement solaire dans la région Bouzaréah

### 1 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. De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la figure 1 [1].



**Fig. 1- Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel [2]**

La source du gisement dont on dispose, on peut répertorier toutes formes d'énergies en quatre grandes catégories : « les énergies fossiles, les énergies renouvelables, les énergies nouvelles et les énergies fatales ». Les premiers ne sont pas des énergies renouvelables on a le pétrole, le gaz naturel, et le charbon, et fossiles non renouvelables qui se sont accumulées dans l'écorce terrestre au cours des ères géologiques, du fait de processus biologiques ou physico-chimiques [2], et les énergies renouvelables; Comme leur nom l'indique ce sont des sources inépuisables d'énergies offertes par la nature Elle-même et dont la maîtrise garantirait largement l'autonomie de la planète. On y trouve l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie géothermique, l'énergie marémotrice, l'énergie de la biomasse. La première source peut trouver leur origine dans les différents flux énergétiques naturels incidents à la surface de la terre, qui sont :

- Le rayonnement solaire qui fournit 99,97% de sa densité thermique.
- La chaleur interne terrestre qui fournit 0,03% de sa densité thermique.

- Le travail des forces de gravitation [3].

### **1.1 Les énergies renouvelables**

On appelle énergie renouvelable un ensemble de sources d'énergies qui sont inépuisables à l'échelle humaine, largement disponibles, essentiellement gratuites et sont compatibles avec un certain respect environnemental. Elles sont d'origine majoritairement solaire [4].

- Le solaire est une utilisation directe des rayons du soleil pour produire chaleur ou électricité.
- La biomasse regroupe l'ensemble des énergies provenant de la dégradation de la matière organique. C'est de l'énergie solaire transformée par les plantes chlorophylliennes qui sont utilisées soit directement (bois de chauffage) soit après de nouvelles transformations chimiques (biogaz, biocarburant).
- L'éolien utilise l'énergie du vent de manière mécanique.
- La géothermie est l'utilisation directe des gradients de température terrestre ou de sources chaudes

#### **1.1.1 La biomasse**

La biomasse est la matière végétale dérivée de la photosynthèse, réaction entre le  $\text{CO}_2$  dans l'air, l'eau et la lumière du soleil. Typiquement, la photosynthèse convertit moins de 1% de la lumière du soleil disponible [4]. Cette énergie est stockée dans les liaisons chimiques des végétaux. Lorsque la biomasse est utilisée dans un processus de valorisation, (processus biologique, chimique ou thermique), nous extrayons l'énergie en oxydant les atomes de carbone pour produire du  $\text{CO}_2$  et de l'eau. Le processus est cyclique, car le  $\text{CO}_2$  est disponible pour produire la nouvelle biomasse. L'homme, pendant des milliers d'années, a exploité l'énergie stockée dans ces liaisons chimiques, comme carburant et comme aliment. Plus récemment, la biomasse fossilisée (charbon et pétrole) a été exploitée. Cependant, puisque la conversion de la biomasse en combustibles fossiles prend des millions d'années, nous ne considérons pas ces ressources comme renouvelables à l'échelle de l'humanité. Brûler des combustibles fossiles en utilisant de la biomasse « âgée » en relâchant du « nouveau  $\text{CO}_2$  » contribue à l'effet de serre et épuise une ressource non-renouvelable alors que brûler une « nouvelle » biomasse n'y contribue pas, parce que la croissance de nouvelles plantations assure que le  $\text{CO}_2$  est absorbé par la nouvelle plante [5].

#### **1.1.2 L'éolien**

L'humanité utilise le vent de puis la nuit des temps (bateau à voile, moulin à vents...). C'est certainement la forme d'énergie renouvelable qui connaît le plus fort développement les éoliennes ayant fait de gros progrès depuis une dizaine d'années (plus 55% en productivité, moins 50% en niveau de bruit). Une éolienne est une machine qui transforme l'énergie cinétique du vent (déplacement d'une masse d'air) en énergie mécanique ou électrique. Les éoliennes sont conçues de manière à produire un maximum de puissance pour des vents de force moyenne fréquemment

rencontrées. Elles atteignent leur puissance nominale pour une vitesse de vent de 50 km/h (14 m/s). Si le vent devient plus violent, la machine subit des contraintes plus importantes. Elle est alors freinée grâce à un système de régulation électronique qui lui permet de rester à la puissance maximale (atteinte dès 50 km/h) tout en limitant les efforts sur la structure. Au delà d'un certain seuil (90 km/h, soit 25 m/s), la régulation ne suffit plus. La machine est alors stoppée afin de lui éviter de subir des charges trop importantes. Cette énergie offre deux grands avantages, puisqu'elle est totalement propre et renouvelable. Lors de son exploitation, elle n'entraîne aucun rejet (pas d'effet de serre ou de pluies acides) et aucun déchet. Mais le principal inconvénient de cette source d'énergie renouvelable est son manque de flexibilité et son inconstance. Le vent ne souffle pas forcément quand on en a besoin ! En moyenne, une éolienne tourne à sa puissance nominale 1/5 du temps sur une année. Il convient alors de diviser par 5 la puissance installée pour obtenir la puissance réelle moyenne [6].

### **1.1.3 La géothermie**

Littéralement (en grec Gê : terre et thermos : chaud), la géothermie est la chaleur venant de la terre et, par assimilation, c'est l'utilisation de cette énergie qui trouve sa source dans la température de la croûte terrestre. Exploiter l'énergie géothermique nécessite la présence d'eau chaude, pour prélever la chaleur. Selon sa température, on distingue deux types d'exploitations géothermiques :

- entre 20 et 80 °C la chaleur est utilisée directement, c'est la basse énergie ;
- entre 80 à 300 °C, la moyenne et haute énergie permettent la production d'électricité.

La vapeur d'eau est soit utilisée directement pour faire tourner des turbines soit à l'aide d'un fluide secondaire se vaporisant à une température plus basse [4].

### **1.1.4 Le solaire l'énergie**

Le soleil est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 8400 fois la consommation énergétique de l'humanité. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré ( $\text{kWc/m}^2$ ) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que n'en consomme l'humanité en une année [7]

L'énergie solaire est produite et utilisée selon plusieurs procédés:

- L'énergie solaire thermique:

Le principe consiste à capter le rayonnement solaire et à le stocker dans le cas des systèmes passifs (véranda, serre, façade vitrée) ou, s'il s'agit de système actif, à redistribuer cette énergie par le biais d'un fluide caloporteur qui peut être de l'eau, un liquide antigel ou même de l'air. L'énergie solaire thermique trouve de nombreuses applications : la production d'eau chaude, le chauffage des maisons, le chauffage de l'eau des piscines, le séchage des récoltes, la réfrigération par absorption pour les bâtiments, la production de très haute température [8].

- L'énergie solaire photovoltaïque: qui consiste à produire directement de l'électricité à partir de la lumière à l'aide de panneaux solaires. Cette forme d'énergie est déjà exploitée dans de nombreux pays, surtout dans les pays ou les régions ne disposant pas de ressources énergétiques conventionnelles tels que les hydrocarbures ou le charbon [9].
- l'énergie solaire passive: est une autre forme d'utilisation de l'énergie solaire qui consiste à utiliser directement la lumière pour le chauffage.

### **1.2 L'énergie solaire reçue sur Terre:**

Celui-ci émet en permanence 1026 Watt sous forme de rayonnement et la Terre reçoit 178 millions de milliard de Watt sur sa face éclairée soit 350 Watt par m<sup>2</sup> à l'équateur. Le rayonnement solaire est un rayonnement électromagnétique composé essentiellement:

- De lumière visible de longueur d'onde comprise entre 400nm et 800 nm ;
- De rayonnement infra rouge (IR) de longueur d'onde inférieure à 400 nm ;
- De rayonnement ultra violet (UV) de longueur d'onde supérieure à 800nm.

Sur Terre, l'atmosphère (via le dioxyde de carbone, l'ozone, la vapeur d'eau...) absorbe en grande partie les IR et les UV et un peu la lumière visible. Ainsi plus l'épaisseur d'atmosphère traversée est importante, plus la quantité d'énergie solaire reçue par le sol est faible. Quand on se rapproche des pôles, les rayons sont plus inclinés : la même quantité d'énergie sera répartie sur une plus grande surface. C'est pourquoi le rayonnement solaire par unité de surface reçu diminue de l'équateur vers les pôles (ceci, avec l'inclinaison de l'axe de la Terre, est à l'origine du phénomène des saisons) [10].

L'énergie solaire est également réduite:

- par l'alternance des jours et des nuits ;
- par la couverture nuageuse (celle-ci réduit à 50 % l'énergie solaire) ;
- par la variation saisonnière.

#### **1.2.1 Distance Terre-Soleil**

Le soleil est situé à une distance moyenne de 149 598 000 km de la terre .Cette distance varie peu au cours de l'année (+/-1.65 %) car l'excentricité de l'orbite terrestre est peu accentuée (e=0.017), d'où la terre suit une révolution elliptique autour du soleil (en réalité elle est légèrement circulaire) [11].La période de révolution est définie a une année. L'angle entre l'axe de rotation de la terre et le plan écliptique est de 66.55°, ce qui donne un angle de 23.45°entre l'équateur et le plan de l'écliptique [12].

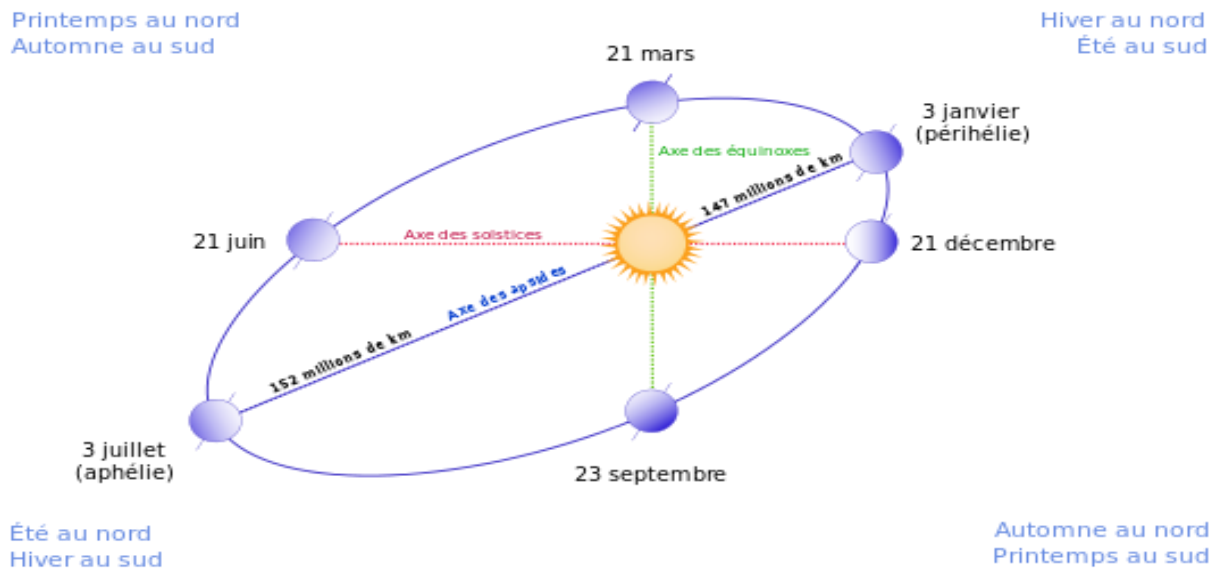


Fig . 2- Rapports géométriques : soleil-terre [13].

### 1.3 Repérage et mesures d'ensoleillement

#### 1.3.1 Repérage du soleil dans le ciel

La hauteur du soleil est une donnée principale pour les causes suivantes :

Cette hauteur contribue clairement dans les calculs énergétiques.

L'installation dans un site donné exige une étude des effets appuyés par l'environnement.

Tout point de la sphère terrestre peut être repéré par deux coordonnées, appelées coordonnées terrestres, à savoir : sa latitude " $\varphi$ ", qui est positive dans l'hémisphère Nord, elle est négative dans l'hémisphère Sud, et sa longitude " $\lambda$ " positive à l'Ouest négative à l'Est (voir Fig.3). La méridienne origine, servant à la mesure de la longitude, est celui de Greenwich [1].

La hauteur du soleil est une donnée fondamentale pour au moins pour deux raisons:

- cette hauteur intervient explicitement dans les calculs d'apport énergétique.
- l'implantation dans un site donné (Architectural ou une exploitation d'un gisement solaire) demande une étude des ombres portées par l'environnement bâti ou naturel. Il est donc commode de traduire au moyen d'abaques, la hauteur du soleil aux différents mois [14].

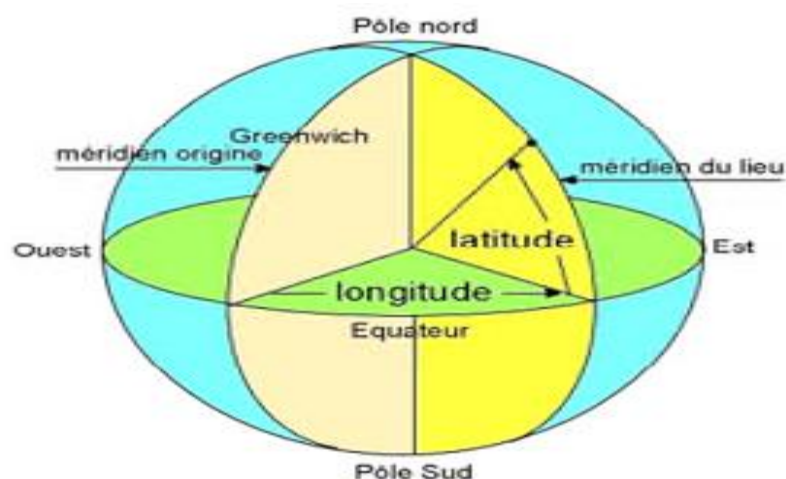


Fig. 3 - Les coordonnées terrestres d'un lieu donné [15].

### 1.3.2 Position du soleil et angles solaires

Le mouvement du soleil qu'on peut observer depuis la terre n'est qu'apparent puisqu'en fait c'est la terre qui tourne autour du soleil. La terre subit deux mouvements simultanés :

- Un mouvement de rotation sur elle-même selon un axe incliné. La terre fait un tour sur elle-même en 24 heures (un jour) [1].
- Un mouvement de rotation autour du soleil. La terre fait un tour en 365,25 jours (une année).

Ces mouvements provoquent les mouvements apparents du soleil:

- La rotation de la terre sur elle-même provoque un mouvement apparent du soleil de l'est vers l'ouest du matin au soir
- La rotation de la terre autour du soleil explique qu'en été le soleil passe plus haut dans le ciel qu'en hiver. Le schéma suivant montre la course du soleil dans le ciel d'une ville de l'hémisphère nord

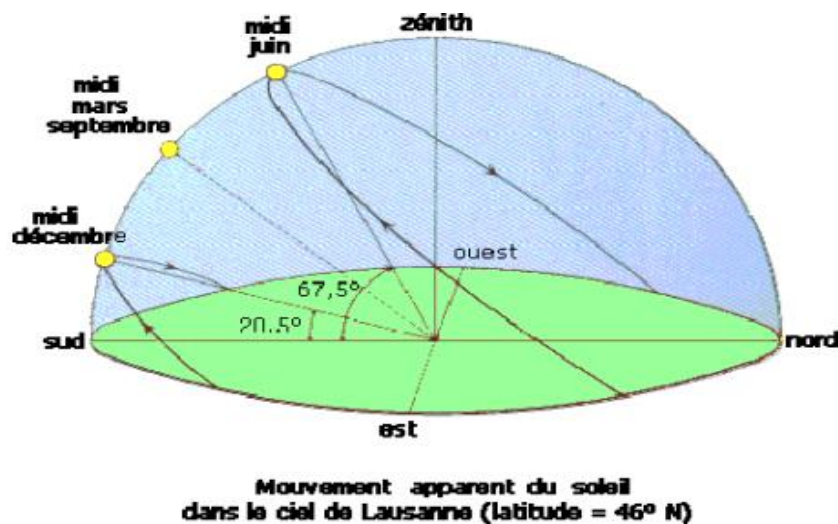


Fig .4 - Mouvement du soleil [16].

La position du soleil est exprimée en fonction de l'angle azimut solaire  $a$ , angle que fait la projection de la direction du soleil avec la direction du sud. Cet angle est mesuré positivement vers l'Ouest, et l'angle de l'altitude solaire  $h$ , angle que fait la direction du soleil avec sa projection, le complément de  $h$  ou l'angle que fait la direction du soleil avec la verticale est appelé angle zénithal ( $\theta_z$ ) [17]

### 1.3.3 Longitude

Une des coordonnées terrestres d'un point de notre planète. C'est l'angle que fait le méridien local passant par le point considéré avec le méridien d'origine passant par la ville de Greenwich. Sa valeur est positive à l'ouest et est négative à l'est de la méridienne origine [18].



### 1.3.4 Latitude

La latitude est une valeur angulaire, expression du positionnement nord ou sud d'un point sur Terre. D'un point de vue mathématique, la latitude d'un point est l'angle au centre que forme la normale (verticale) en ce point avec le plan équatorial [19].

- La latitude est une mesure angulaire s'étendant de  $0^\circ$  à l'équateur à  $90^\circ$  aux pôles ( $-90^\circ$  au sud à  $90^\circ$  au nord).
- Les points de même latitude constituent un cercle approximatif appelé parallèle (les irrégularités du cercle sont liées aux variations d'altitude), sauf aux pôles où ce cercle se réduit à un point. Ces cercles sont inscrits dans des plans perpendiculaires à l'axe de rotation de la Terre.
- Plus la latitude s'écarte de  $0^\circ$ , plus on s'éloigne du plan de l'équateur, cependant la latitude n'est pas une mesure proportionnelle à la distance entre les deux plans, mais proportionnelle à la distance la plus courte pour rejoindre l'équateur en parcourant la surface terrestre soit vers le nord géographique soit vers le sud géographique.

En effet, la distance au plan de l'équateur ne varie pratiquement pas près des pôles même si la latitude varie beaucoup, au contraire des plans de latitude près de l'équateur où la variation de la distance inter-plan est maximale [19].

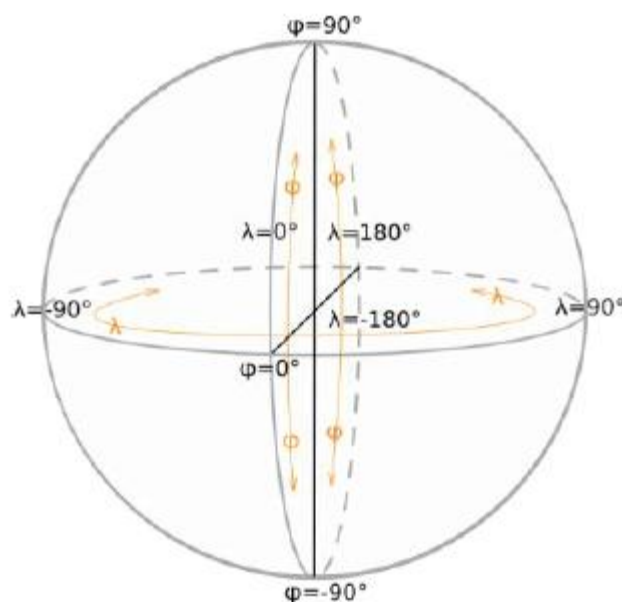


Fig. 5 - Latitude. Longitude [23].

### 1.3.5 Déclinaison solaire $\delta$

La déclinaison solaire ‘‘ $\delta$ ’’ est un angle formé de la direction du soleil et le plan équatorial terrestre. Cet angle varie au cours des saisons. On compare cinq méthodes pour calculer la déclinaison du soleil, c'est-à-dire l'angle entre la direction du soleil et le plan équatorial. Le mouvement relatif du soleil par rapport à la terre est composé d'une part d'un mouvement annuel

pendant lequel la terre se déplace sur une orbite elliptique quasiment circulaire (excentricité proche de zéro) et d'autre part du mouvement de rotation de la terre sur elle-même de périodicité égale à un jour ou 24 heures. Dans ce dernier mouvement, le soleil semble décrire une trajectoire qui correspond à un parallèle situé entre les deux tropiques, celui du Cancer au solstice de juin et celui du Capricorne au solstice de décembre. La déclinaison du soleil peut donc être assimilée à la latitude du parallèle décrivant la trajectoire du soleil pour un jour donné [20].

Dans les deux premières méthodes, on suppose que la trajectoire du soleil est une orbite circulaire (en réalité, c'est une ellipse de très faible excentricité,  $e = 0.017$ ) inclinée de 23.45 degrés par rapport au plan de l'écliptique. L'intersection du plan de cette orbite avec le plan de l'écliptique correspond à la ligne des équinoxes (mars – septembre).

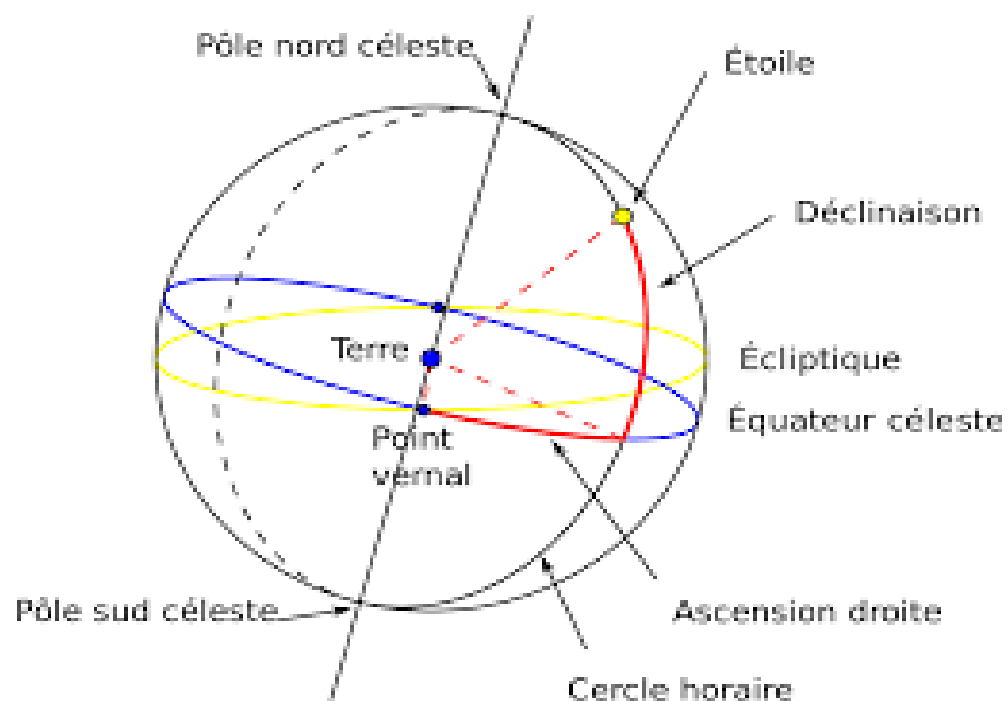


Fig . 6 - Déclinaison solaire [21]

Première méthode, présentée précédemment par les auteurs<sup>1</sup>, se base sur l'hypothèse d'une orbite terrestre circulaire. A partir de cette hypothèse, il est aisé de développer une solution explicite.

Dans les formules qui suivent, l'angle  $\delta$  désigne la déclinaison en degrés et  $J$  le numéro du jour de l'année du calendrier.

$$\delta = \left( 0.006918 - 0.399912 \cos(\Gamma) + 0.070257 \sin(\Gamma) - 0.006758 \cos(2\Gamma) \right. \\ \left. + 0.000907 \sin(2\Gamma) - 0.002697 \cos(3\Gamma) + 0.00148 \sin(3\Gamma) \right) \left( \frac{180}{\pi} \right) \quad (01)$$

Une seconde formule, attribuée à Desmond Fletcher, est mentionnée dans l'encyclopédie en ligne Wikipedia. Comme on le verra plus loin, elle donne d'assez bons résultats, même si elle n'est pas cohérente avec la formule précédente [20].

$$\delta = 23.45^\circ \sin(0,980^\circ (j + 284)) \quad (02).$$

### 1.3.6 Angle horaire

A chaque moment, il est plus pratique de calculer le temps en degrés qu'en heures. L'unité de mesure est l'angle horaire (24 h représente  $360^\circ$  horaires). L'angle horaire se mesure à partir de midi solaire, il est positif s'il est avant midi et il est négatif s'il est après midi.[17] est défini par :

$$\omega = 15^\circ(TSN - 12) \quad (03)$$

Il peut être aussi défini comme étant l'angle compris entre la méridienne origine passant par le sud et la projection du soleil sur le plan équatorial (voir Fig7), il mesure la course du soleil dans le ciel [1]

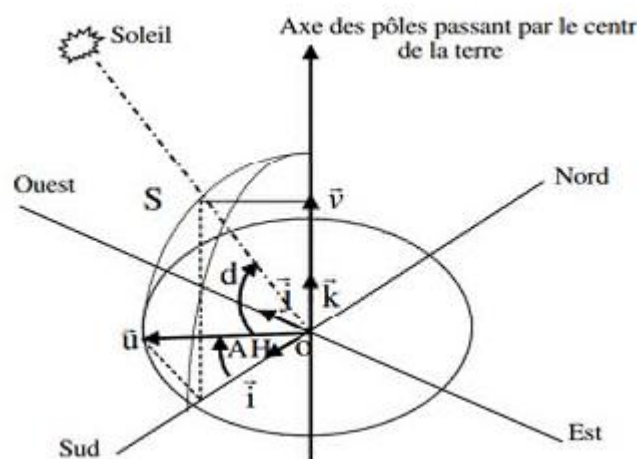


Fig. 7 - Repère équatorial [1].

### 1.3.7 Position du soleil

La position du soleil est exprimée en fonction de l'angle azimut solaire  $\alpha$ , angle que fait la projection de la direction du soleil avec la direction du sud. Cet angle est mesuré positivement vers l'Ouest, et l'angle de l'altitude solaire  $h$ , angle que fait la direction du soleil avec sa projection, le complément de  $h$  ou l'angle que fait la direction du soleil avec la verticale est appelé angle zénithal ( $\theta_z$ ) [17].

Le mouvement du soleil qu'on peut observer depuis la terre n'est qu'apparent puisqu'en fait c'est la terre qui tourne autour du soleil. La terre subit deux mouvements simultanés:

- Un mouvement de rotation sur elle-même selon un axe incliné. La terre fait un tour sur elle-même en 24 heures (un jour).

- Un mouvement de rotation autour du soleil.

La terre fait un tour en 365,25 jours (une année). Ces mouvements provoquent les mouvements apparents du soleil:

- La rotation de la terre sur elle-même provoque un mouvement apparent du soleil de l'est vers l'ouest du matin au soir

- La rotation de la terre autour du soleil explique qu'en été le soleil passe plus haut dans le ciel qu'en hiver.[22]

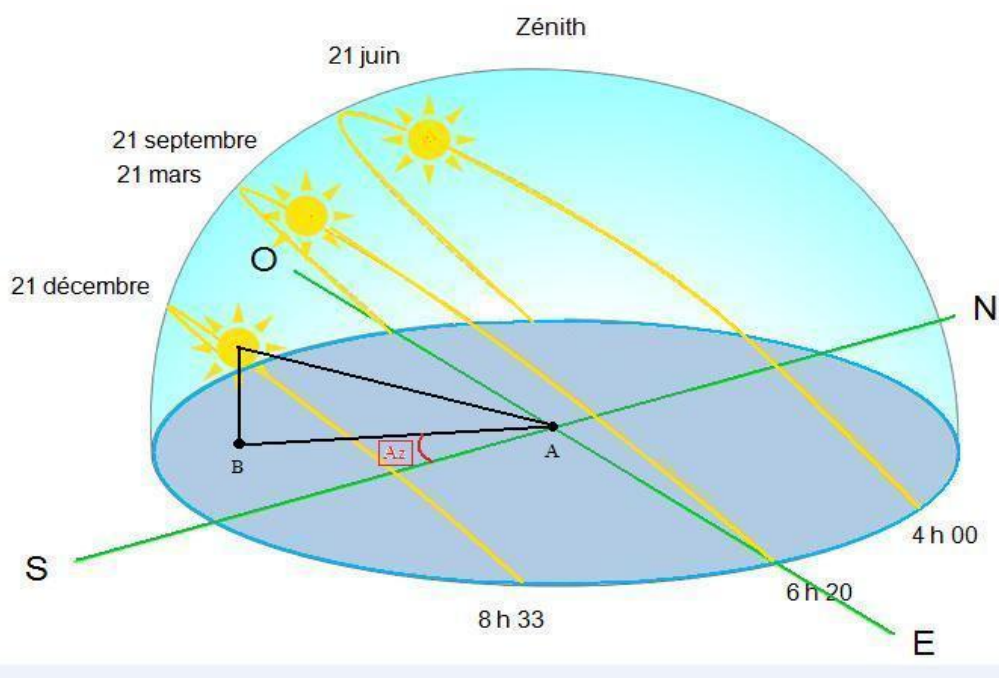


Fig . 8 - Le schéma suivant montre la course du soleil dans le ciel d'une ville de l'hémisphère nord [23].

### 1.3.8 Durée du jour

Le jour est le temps qui sépare le lever et le coucher du soleil. Deux instants particuliers de la journée qui donne une hauteur  $h$  du soleil nulle sont appelés: le lever et le coucher du soleil [24]. La relation donnant la hauteur du soleil peut s'écrire

$$\text{Degréjour} = 18 - T_{\text{moyenne}} \quad (04)$$

$$\sin h = \cos \delta \cos H \cos \varphi + \sin \delta \cos \varphi \quad (05)$$

Avec:

$\delta$  : Déclinaison du soleil;

$H$  : L'angle horaire du soleil;

$\varphi$ : Latitude du lieu

$$H_c = \arccos (\tan \delta \tan \varphi) \quad (06)$$

$$H_l = - H_c$$

$$Dj = \frac{Hc - Hl}{15} = \frac{2}{15} \times \text{Arc cos } T \quad (07)$$

$$T = -\tan \delta \times \tan \varphi \quad (08)$$

$$\text{Sin}(h) = \text{sin}(L) * \text{sin}(\delta) + \text{cos}(L) * \text{cos}(\delta) * \text{cos}(\omega) \quad (09)$$

$$\text{Sin}(a) = (\text{cos}(\delta) * \text{sin}(\omega)) / (\text{cos}(h)) \quad (10)$$

#### 1.4 Les cinq temps.

##### 1.4.1 Equation du temps

Jusqu'en 1964, la mesure du temps était basée sur la rotation de la terre : le jour était défini comme l'intervalle de temps entre deux passages du soleil par le même méridien. Toutefois, les jours solaires ne sont pas égaux, car l'angle "AH" que fait le soleil avec le méridien du lieu ne correspond pas exactement au temps solaire local bien que la terre tourne régulièrement sur elle-même. C'est l'écart entre le temps solaire moyen TSM et le temps solaire vrai TSV selon le jour de l'année considérée [25]

$$ET = TSV - TSM \quad (11)$$

Ou :

TSV: Temps Solaire Vrai c'est le temps repéré de façon que le soleil se trouve au zénith à midi;

TSM: Temps Solaire Moyen c'est le temps qui " s'écoule " à vitesse constante de la Terre sur son orbite au cours de l'année (celui mesuré par les horloges).

ET durant l'année est donnée par la formule suivante [25]:

$$ET = 0,258 \cos(x) - 7,416 \sin(x) - 3,648 \cos(2x) - 9,228 \sin(2x) \quad (12)$$

Avec

$$x = \frac{360(N - 1)}{365 \times 25} \quad (13)$$

Où l'angle x est défini en fonction du numéro du jour N.

Le décompte commence à partir du 1<sup>er</sup> janvier où N=1.

##### 1.4.2 Temps universel

C'est le temps solaire moyen du méridien de Greenwich GMT (Greenwich Mean Time) qui est le méridien central du fuseau horaire. Pour en déduire le temps légal ou local (TL), il convient d'ajouter au temps universel le décalage du fuseau horaire [26] .

$$T_L = T_U + \text{décalage} \quad (14)$$

### 1.4.3 Temps Solaire vrai $H$ et Temps Solaire Moyen $H_m$

Les astronomes ont la fâcheuse habitude de donner le nom de temps, suivi d'une épithète (temps sidéral, temps solaire...) à des grandeurs essentiellement distinctes du temps de la mécanique. Ces grandeurs sont approximativement des fonctions linéaires du temps  $t$  dont les variations sont connues. Elles sont donc susceptibles de fournir le temps  $t$  proprement dit, mais en réalité, ce sont des angles dièdres. Le temps solaire vrai local est, par définition, l'angle horaire  $H$  du centre du Soleil. Lorsque le Soleil passe au méridien de l'observateur, on dit qu'il est midi vrai ; à cet instant l'angle horaire du Soleil est nul. Le temps solaire moyen est l'angle horaire  $H_m$  d'un mobile fictif, appelé Soleil moyen, qui se déplacerait régulièrement sur l'équateur de manière que l'intervalle de temps qui s'écoulerait entre ses deux passages consécutifs en un même méridien soit égal à 24 h, durée du jour solaire moyen[27].

### 1.4.5 Temps solaire local

La différence entre temps solaire local et temps universel est appelée correction de longitude [26].

## 1.5 Mouvement 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 149,6.106km 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 inclinée de  $23^{\circ}27'$  par rapport au plan de l'écliptique (plan de l'orbite terrestre) mouvement de translation [28].

Elle tourne autour du soleil une fois par an (exactement en 365.25 jours) sur une orbite elliptique où le soleil est considéré comme un point fixe au milieu de cette ellipse. On note cependant une variation de distance durant son parcours annuel d'environ 3.3% entre les valeurs suivantes :

- Distance maximum 152 millions km.
- Distance minimum 147 millions km.

La distance moyenne de 149,5 millions km porte le nom d'une unité astronomique (1UA). A la vitesse de la lumière, cette distance correspond à 8,32 minutes. Cela signifie que la lumière solaire atteint la terre après 8.32 min. La variation de la distance entre le soleil et la terre influence l'intensité de l'irradiation sur le sol terrestre. Elle est également l'une des causes de la variation des saisons [29].

Les rapports géométriques entre le soleil et la terre sont représentés par la figure 09.

L'angle formé par le soleil et la terre quand ils sont séparés par cette unité astronomique à une valeur de 32 minutes ce qui signifie que les rayons solaires incidents ne sont pas tout à fait parallèles. Cependant, cette divergence est tellement minime qu'elle est souvent négligée dans les calculs.

Avec :

$$\Delta = \sin(-1) \left( 0.4 \sin \left( \frac{360}{365} (j - 82)^\circ \right) \right) (\text{degré}) \quad (15)$$

Le point de l'orbite terrestre le plus proche du soleil porte le nom de périhélie. Il a une distance de 147 millions de km et tombe le 3 janvier. À cette période de l'année, l'hémisphère nord est en hiver pendant que l'hémisphère sud se trouve en été. Par contre, le point le plus éloigné du soleil l'aphélie est atteint le 3 juillet avec une distance de 152 millions de km : l'hémisphère nord est en été, l'hémisphère sud est en hiver (figure 9) [29]

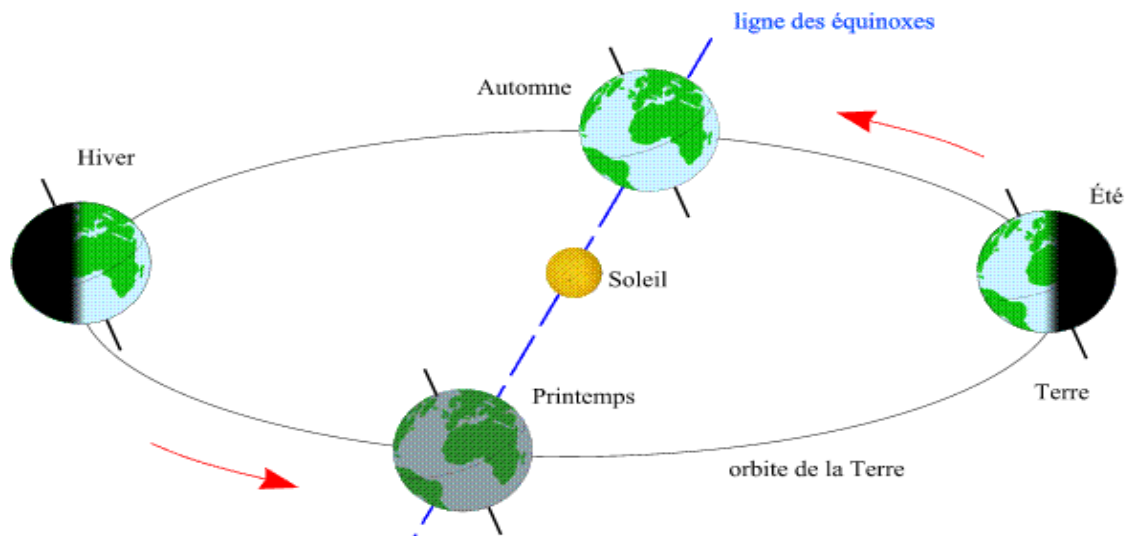


Fig. 9 - Déclinaison terrestre et les différentes saisons de l'année [30].

### 1.5.1 Repère horizontal

Le repère horizontal est formé par le plan de l'horizon astronomique et la verticale du lieu. Dans ce repère, les coordonnées sont la hauteur  $\alpha$  et l'azimut  $\epsilon$ . (Figure 10)

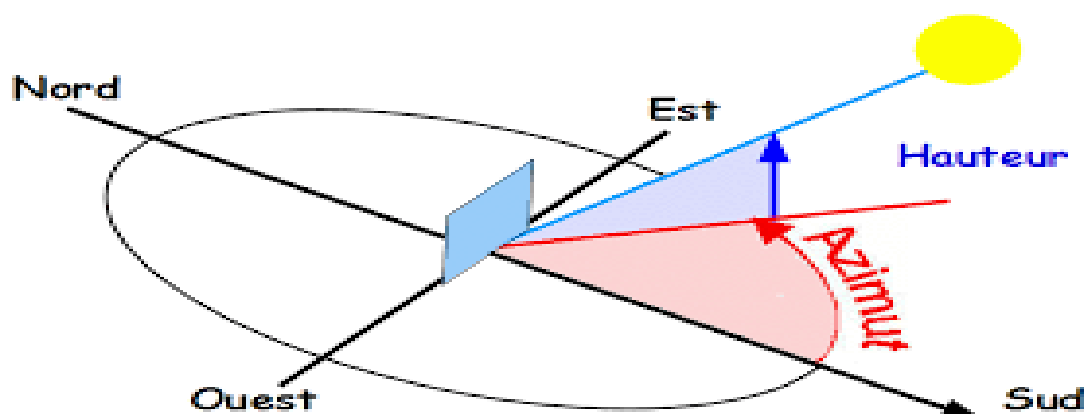


Fig .10 – Repère horizontal [31].

### 1.5.2 Azimut du soleil ( $\epsilon$ ) :

C'est l'angle compris entre le plan méridien du lieu et le plan vertical passant par le soleil perpendiculaire au plan horizontal [32].

«  $\epsilon$  » Est donnée par :

$$\sin(\epsilon) = \cos(\delta) * \frac{\sin(\omega)}{\cos(\alpha)} \quad (16)$$

### 1.5.3 Hauteur du soleil ( $\alpha$ ) :

C'est l'angle formé par la direction du soleil et sa projection sur le plan horizontal[28].

$$\sin \alpha = \sin(\varphi) * \sin(\delta) + \cos(\varphi) * \cos(\delta) * \cos(\omega) \quad (17)$$

$\varphi$  : Latitude du lieu

$\delta$  : Déclinaison

$\omega$  : Angle horaire

### 1.5.4 Mouvement de rotation

La terre tourne autour de son axe de rotation (Pôle Nord, Pôle Sud) dans le sens Ouest –Est l'alternance des jours et des nuit et une manifestation immédiate de ce mouvement. On d'un lieu, ce jour est divisé en 24 intervalles égaux appelés heur définit le jour solaire comme de la durée moyenne entre deux passages consécutifs au méridien es. La rotation de la terre S'effectue avec une période de  $Pr = 23h 56mn 04s \approx 24h$  sa vitesse linéaire de rotation à l'équateur est :  $Vr = 0,465 \text{ Km/s}$  , elle es variable en fonction de la latitude telle que [33]

$$Vr(\varphi) = Vr(\cos(\varphi)) \quad (18)$$

## 1.6 Le rayonnement solaire :

### 1.6.1 Rayonnement solaire

L'énergie produite par les réactions thermonucléaires dans le soleil est rayonnée dans l'espace sous forme d'ondes électromagnétiques dans un spectre très étalé (des ondes métriques aux rayons gammas en passant par la lumière visible). La densité de flux d'énergie à la surface apparente du soleil est de 64 MW (million de Watts) par mètre carré. Cette densité diminue en fonction directe du carré de la distance. Ainsi, aux confins de l'atmosphère (donc à 150 million de km du soleil), la densité de flux totale vaut en moyenne 1367 W/m<sup>2</sup>, essentiellement reçu dans la bande de 0,3 micron (ultraviolet) à 2,5 micron (infrarouge proche). L'intensité maximale se trouve à 0,55 micron, correspondant à la couleur verte. L'absorption et la diffusion atmosphérique a pour effet de diminuer cette intensité d'une manière générale dans toutes les longueurs d'onde et plus fortement dans certaines bandes d'absorption moléculaires des composants de l'air.

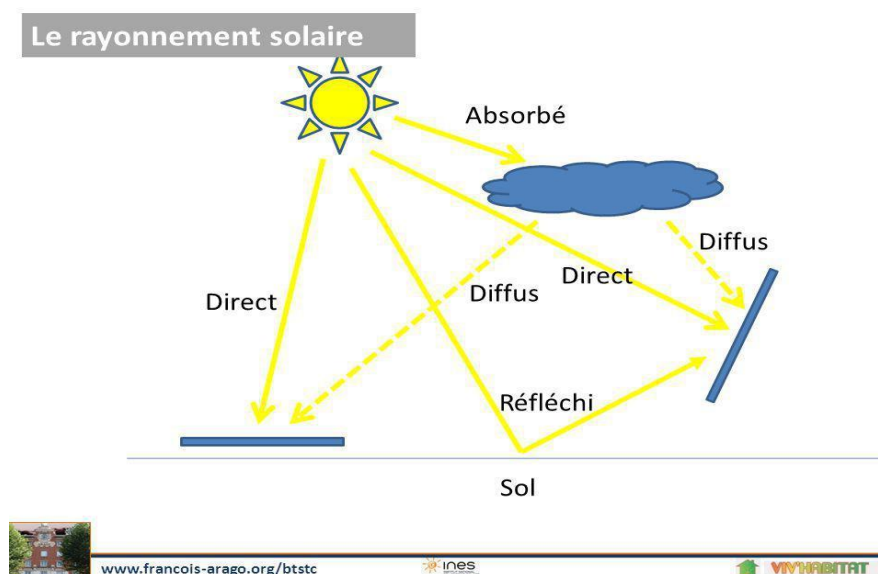


La figure suivante montre le spectre du rayonnement solaire en dehors de l'atmosphère et au niveau de la mer, par ciel serein [22].

**Tableau .1 – Répartition spectrale du rayonnement thermique [10]**

Longueur d'onde ( $\mu\text{m}$ )	0-0.38	0.38-0.78	0.78
Pourcentage (%)	6.4	48	45.6
Energie (W/m <sup>2</sup> )	87	656	623

Les réactions thermonucléaires produites au cœur du soleil génèrent des rayonnements corpusculaires et électromagnétiques se propageant dans toutes les directions du vide inter sidéral avec une vitesse de 3.10 les rayons X et gamma jusqu'à l'I.R lointain. Cependant 99.9% de l'énergie se situe entre 0.2 et 8 $\mu\text{m}$  [34]. On pourra supposer avec une approximation acceptable que le soleil rayonne comme un corps noir porté à une température de 5762 K dite température apparente du soleil ne correspondant pas à la réalité physique [34]



**Fig .11 – Rayonnement direct et diffus : différents chemins [35]**

## 1.6.2 Mesure des rayonnements solaires :

### 1.6.2.1 Fraction d'insolation $\sigma$

On dit qu'il y a insolation lorsque le disque solaire est bien visible sur le fond diffus du ciel, la durée d'insolation d'une journée est la durée pendant la quelle l'éclairement énergétique du rayonnement solaire direct dépasse un seuil fixé par convention à 120 w.m<sup>-2</sup>. En l'absence de nuage la durée d'insolation est pratiquement égale à la durée du jour, les durées d'insolation mensuelle et annuelle sont un simple cumul des durées d'insolation des diverses journées. L'instrument de mesure de la durée d'insolation s'appelle l'héliographe. Soit (S) la durée d'insolation mesurée et (S<sub>0</sub>) la durée du jour (le temps entre l'heure du coucher et l'heure du lever du soleil. ), on définit la fraction d'insolation ( $\sigma$ ) comme suit [36].

S'en déduit par le rapport :

$$\sigma = \frac{S}{S_0} \quad (19)$$

$$S_0 = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan(L) \cdot \tan(\delta)) \quad (20)$$

Ou :

S : durée d'insolation mesurée ;

S<sub>0</sub> : durée maximale d'insolation ;

### 1.6.3 Le rayonnement solaire direct et le rayonnement global:

C'est le rayonnement solaire qui se forme de rayons parallèles provenant du soleil sans avoir été dispersé par l'atmosphère Le rayonnement direct est le rayonnement incident sur un plan donné en provenance d'un petit angle solide centré sur le disque solaire, il parvient en ligne droite et par temps clair [34]

Le rayonnement solaire global (noté G) qui arrive au sol a deux composantes:

Le rayonnement direct (noté D) et le rayonnement diffus. Ce dernier n'a pas d'orientation privilégiée, il provient de toute la voute céleste et il est surtout riche en couleur bleue. La Figure I-16 présente le rayonnement direct AM1.5D de 900 W/m<sup>2</sup> et le rayonnement global AM1.5 G de 1000 W/m<sup>2</sup> adopté comme spectre de référence. Ces rayonnements sont développés par ASTM (American Society for Testing and Materials), avec le programme SMARTS (Simple Model of the Atmospheric radiative Transfer of Sunshine). Le spectre de référence ASTM G173 modelé et développé avec SMARTS (v2.9.2) suppose les hypothèses suivantes:

Ciel clair sans nuages, AM<sub>0</sub>=1367 W/m<sup>2</sup>,

- Inclinaison de surface tournée vers le soleil = 37° (par exemple, d'un collecteur solaire monté au sol) [37]
- Température 288.1 °K,
- Pression atmosphérique 1013.25 mbar,
- Altitude au sol = 0 km,
- Humidité relative 46.04%,
- Hauteur d'eau condensable 1.416 cm,
- Hauteur réduite d'ozone = 0.3438 atm-cm,
- Modèle d'aérosol rural avec une profondeur optique d'aérosol (en anglais: Aérosol Optical Depth AOD) = 0.084 à λ = 500 nm,
- Rapport de mélange volumétrique de CO<sub>2</sub> = 370 ppm,
- Albédo spectral basé sur un «sol sableux léger» avec une réflexion non lambertienne et un demi-angle d'ouverture de pyréliomètre = 2.9° (pour calculer le rayonnement circumsolaire). [37]

### 1.6.4 Rayonnement diffus $I_d$

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

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. [38]

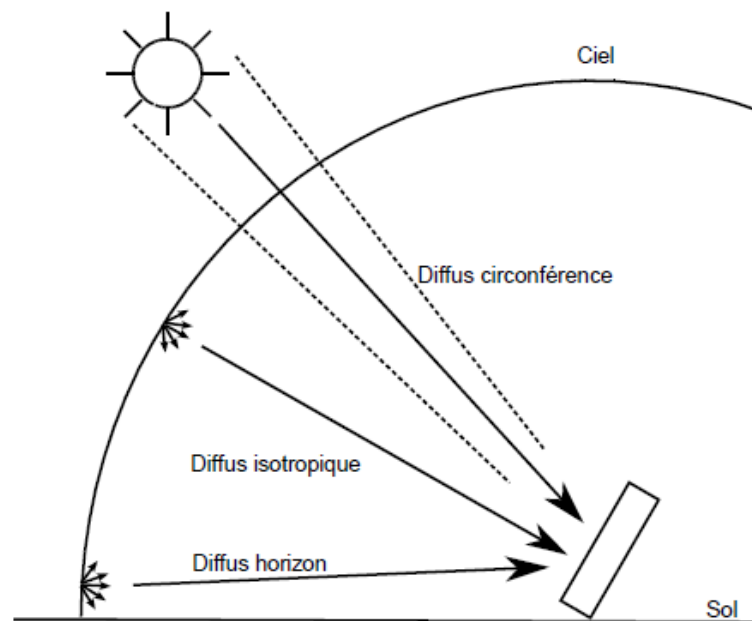


Fig.12 - Rayonnement Diffus [39].

### 1.6.5 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 [40].

Le sol réfléchit une partie de l'éclairement qu'il reçoit en fonction de sa nature [41].

- 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. [41]

**Tableau. 2 - Valeurs typiques de L'albédo du sol [41].**

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

### 1.6.7 Rayonnement solaire et matière

La densité d'énergie que reçoit une surface soumise à un rayonnement direct dépend de l'angle d'incidence  $\theta$ , soit l'angle que forme la normale à cette surface avec la direction des rayons incidents. Une surface perpendiculaire au rayonnement ( $\theta = 0^\circ$ ) reçoit un maximum d'énergie et plus l'angle d'incidence augmente, plus la quantité d'énergie reçue diminue.[22]

La puissance incidente sur la surface  $I_s$  [ $W/m^2$ ], en ne tenant compte que de la composante directe perpendiculaire du rayonnement  $I_b$  [ $W/m^2$ ], est égale à :

$$I_s = I_b \cdot \cos \theta \quad (21)$$

Ou :

$I_s$  : La puissance incidente sur la surface [ $W/m^2$ ] ;

$I_b$  : la composante directe perpendiculaire du rayonnement [ $W/m^2$ ] ;

### 1.8 Le 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 ( $W/m^2$ )[42] .

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  $T=5\ 780$  °K[13].

Loi de Stephan

$$\sigma T^4 \pi R_s^2 = I_0 4\pi D_0^2 \quad (22)$$

Avec

$$I_0 = \sigma \left( \frac{R_s}{D_0} \right)^2 \cdot T^4 \quad (23)$$

Ou

$R_s$  : rayon du soleil ;

$D_0$  : distance moyenne terre Soleil

La valeur de cette constante est  $1366 \text{ W/m}^2$  (selon la norme ASTM E49000a). Mesurée par la NASA cette constante a pour valeur  $I_0 = 1367 \text{ (W/m}^2)$

La valeur admise depuis 2008 est égale à  $1360,8 \pm 0,5 \text{ W/m}^2$

Les unités les plus communes pour la mesure de l'insolation, rayonnement solaire à la surface de la terre (Énergie par unité de temps et unité de surface), sont Watt par mètre carré ( $\text{W/m}^2$ ) [42].

### 1.9 Le gisement solaire en Algérie

Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit  $169.000 \text{ T Wh/an}$  pour le solaire thermique,  $13,9 \text{ T Wh/an}$  pour le solaire photovoltaïque.

Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel. La répartition du potentiel solaire par région climatique au Niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau I.5 selon l'ensoleillement reçu annuellement, la durée d'insolation dans le Sahara algérien est de l'ordre de  $3500 \text{ h/an}$  est la plus importante au monde, elle est toujours supérieure à  $8 \text{ h/j}$  et peut arriver jusqu'à  $12 \text{ h/j}$  pendant l'été à l'exception de l'extrême sud où elle baisse jusqu'à  $6 \text{ h/j}$  en période estivale [3].

La région d'Adrar est particulièrement ensoleillée et présente le plus grand potentiel de toute l'Algérie (figure 13).

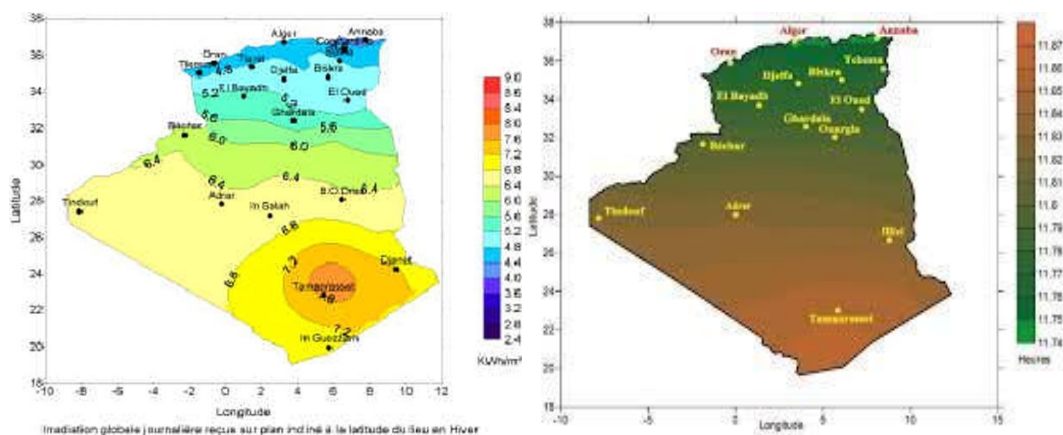


fig.13 - Moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue sur une surface horizontale [3]

En Algérie, il existe un réseau de 78 stations de mesure météorologiques de l'O.N.M(annexe D) réparties sur tout le territoire algérien (figure) [9]. Cependant, seules 7 stations météorologiques assurent la mesure des composantes diffuses et globales du rayonnement solaire reçu sur un plan horizontal en raison, soit du manque de fiabilité de appareils de mesure, ou bien, du coût élevé d'un tel appareillage. La durée d'insolation quanta elle, est mesurée par un héliographe dans la majorité des stations de (O.N.M) à cause de la facilité de sa mise en œuvre.

**Tableau .3 - Potentiel de l'énergie en Algérie [3]**

Régions	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Superficies (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (H/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m <sup>2</sup> /an)	1700	1900	2650

# ***CHAPITRE 02***

## ***Potentiel Energétique de Bouzaréah***

## Chapitre 2 : Potentiel énergétique de Bouzaréah

### 1. Introduction

Le site de Bouzaréah est une entité, situé sur la façade méditerranéenne nord-algérien à 36.8° de latitude Nord; 3,09° de longitude Est ; dans la banlieue algéroise. A 345 mètre d'altitude, [29] population 102 670 hab. (2016)

Le climat de Bouzaréah est dit tempéré chaud. L'été, à Bouzaréah, les pluies sont moins importantes qu'elles ne le sont en hiver. La température moyenne annuelle à Bouzaréah est de 16.2 °C. Les précipitations annuelles moyennes sont de 800 mm [42].

Bouzaréah est le 11<sup>e</sup> arrondissement d'Alger. La commune est située à 8 km du centre d'Alger. Surplombant Bab El Oued, Bouzaréah est considérée comme le véritable belvédère d'Alger [43].

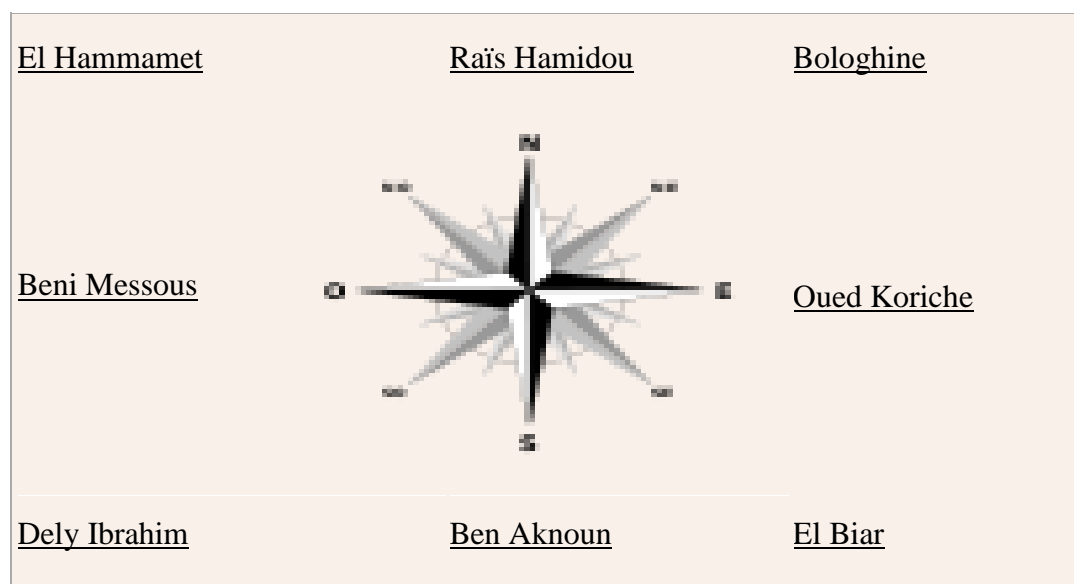
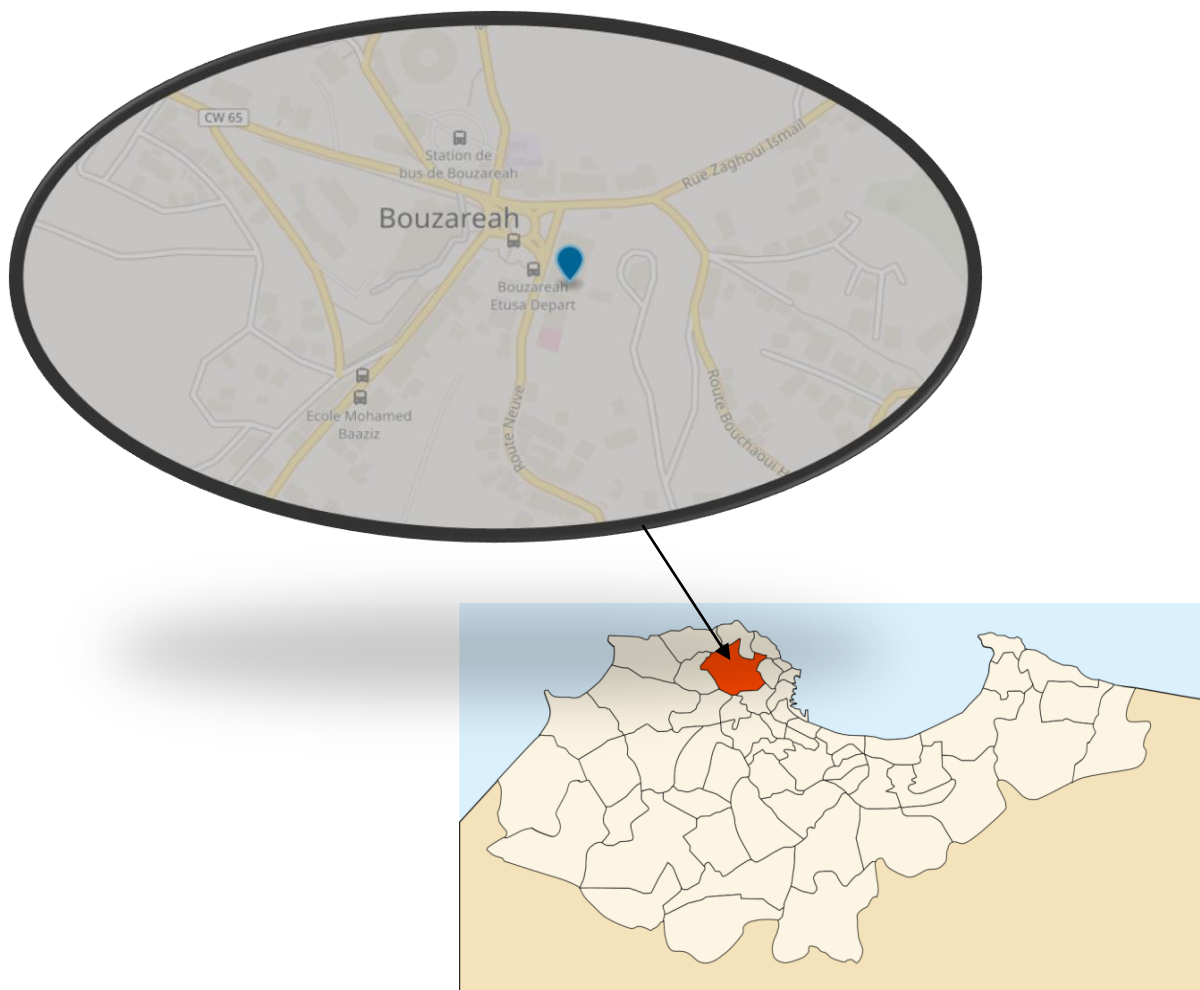


Fig .14 - Communes limitrophes de Bouzaréah [43]





**Fig.15 - Carte de localisation de la site Bouzaréah, Algérie [43]**

### **1.1 Patrimoine architectural**

Bouzaréah abrite quelques sites architecturaux [43] :

- le Bordj Polignac : fortifications,
- la mosquée et marabouts dits de Sidi Madjouba : monument funéraire et de Culte (Islam)
- le cimetière de sidi Madjouba : monument funéraire et de Culte (Islam).



**Fig .16 - Photos architecture de la région Bouzaréah[44]**

## 1.2 Caractérisation expérimentale radiométrique des sites de Bouzaréah

La caractérisation des sites définis se fait à travers l'analyse des paramètres météorologiques et radiométriques. Les plus déterminants sont les précipitations, la température ambiante, l'humidité relative, la vitesse de vent. Les paramètres mesurés sont collectés au niveau deux stations (ONM d'Alger, , CDER de Bouzaréah,.) . Le site de Bouzaréah est soumis à un climat méditerranéen, caractérisé par un climat humide durant toute l'année à l'exception de l'été où le climat devient chaud et sec. Sa façade maritime lui assure une bonne stabilité climatique, notamment en termes de températures et de vents. Les vitesses moyennes annuelles du vent sont de 3 m/s à 4 m/s à 10m du sol. La moyenne de la pluviométrie annuelle varie de 339 à 452 mm, et la température moyenne annuelle est de 14 °C[43]. Site bouzaréah dans l'albedo égale 0,20

### 1.2.1 L'insolation

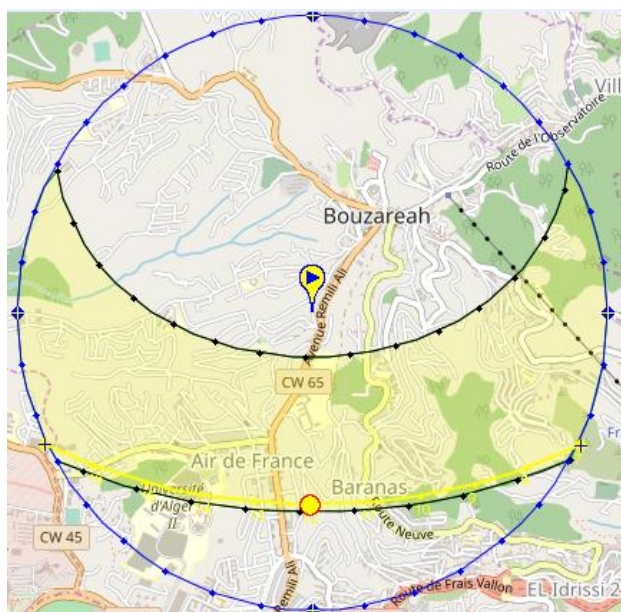
L'insolation représente la durée d'ensoleillement horaire ou journalière. Ses variations et caractéristiques seront similaires à celles de l'indice de clarté. La durée d'insolation est plus importante dans la bande littorale

La durée d'insolation dans la région Bouzaréah **2794,06 heure/an**

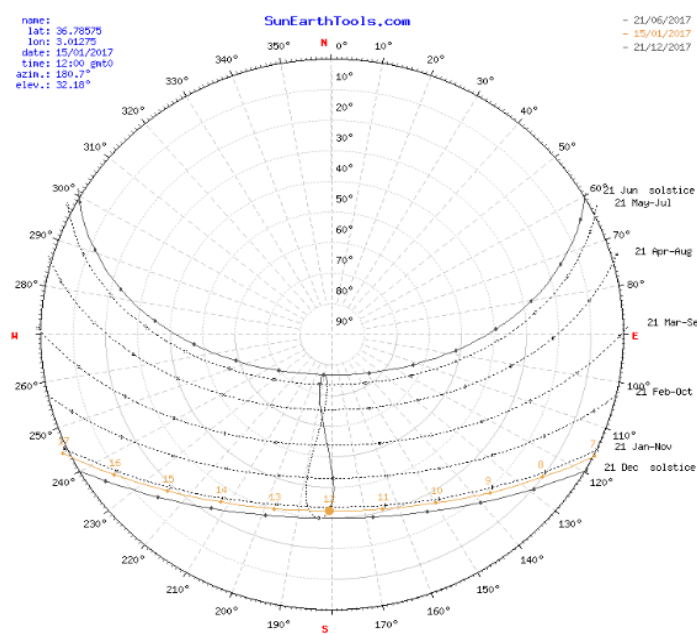
La mesure du rayonnement solaire mensuelle permet d'évaluer les niveaux d'énergie reçue au sol. Les moyennes mensuelles pour les mois de janvier et juillet constituent une base de données importante pour l'étude des sédiments solaires sur le site d'étude [29].

## 1.3 Potentiel solaire de Bouzaréah :

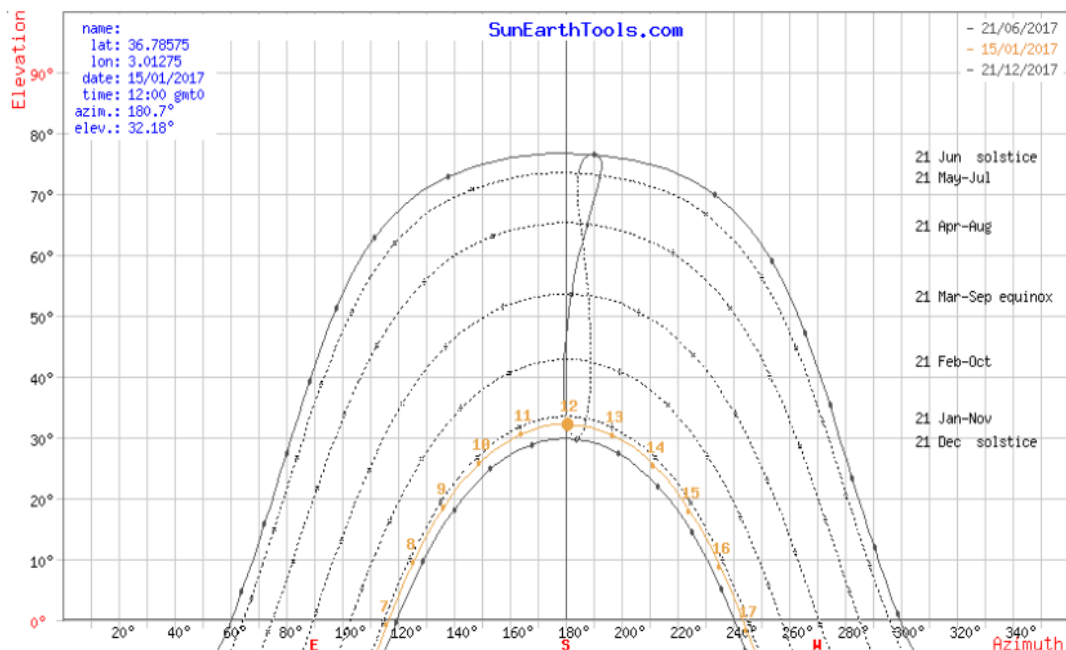
### 1.3.1 La position de soleil dans la région de Bouzaréah



(b)



(a)



(c)

**Fig. 17 - Evolution de la position du soleil d'un azimut et élévation d'une région Bouzaréah [44]**

Figure 17 représente les courses apparentes du soleil dans le ciel et montre la position du soleil à tout moment sous une latitude donnée. Les courbes représentent la course solaire en un lieu donné pour des dates déterminées (généralement le 15 du mois) et pour une période de six mois. Ainsi est connue la hauteur et l'azimut du soleil, les surfaces ensoleillées du bâtiment.

**Tableaux .4- la position du soleil d'une localisation Bouzaréah [44]**

position du soleil	Elevation	Azimut	latitudes	longitudes
15/01/2017 12:00   GMT0	32.18°	180.7°	36.7857500° N	3.0127500° E
crépuscule	Sunrise	Sunset	Azimut Sunrise	Azimut Sunset
crépuscule -0.833°	06:59:42	16:55:29	115.98°	244.12°
Le crépuscule civil -6°	06:31:27	17:23:41	111.89°	248.21°
Le crépuscule nautique -12°	05:59:38	17:55:31	107.46°	252.64°
crépuscule astronomique -18°	05:28:33	18:26:36	103.25°	256.87°
jour	hh:mm:ss	diff. dd+1	diff. dd-1	midi
15/01/2017	09:55:47	00:01:20	-00:01:18	11:57:35

Tableaux.5- les coordonnées d'un localisation de Bouzaréah [44]

Date:	15/01/2017   GMT0	
coordonnées:	36.78575, 3.01275	
localisation:	بوزارء، الءرءاء DZA	
heure	Elevation	Azimut
06:59:42	-0.833°	115.98°
7:00:00	-0.78°	116.02°
8:00:00	9.54°	125.5°
9:00:00	18.62°	136.49°
10:00:00	25.87°	149.43°
11:00:00	30.61°	164.4°
12:00:00	32.18°	180.7°
13:00:00	30.34°	196.94°

### 1.3.2 Le Centre de Développement des Énergies Renouvelables (CDER)

Le Centre de Développement des Énergies Renouvelables (CDER) est un Centre de Recherche, issu de la restructuration du Haut Commissariat à la Recherche, créé le 22 mars 1988.

C'est un Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique (EPST) chargé d'élaborer et de mettre en œuvre les programmes de recherche et de développements, scientifiques et technologiques, des systèmes énergétiques exploitant l'énergie solaire, éolienne, géothermique et l'énergie de la biomasse. [45]



Le CDER en tant que pôle scientifique participe activement dans le programme national de recherche et du développement technologique défini par la loi d'orientation et de programme à projection quinquennale sur la recherche scientifique et le développement technologique.

Les projets nationaux retenus dans ce programme sont orientés sur des priorités économiques et sociétales pour répondre aux principaux besoins stratégiques de développement économique.

Le CDER active depuis sa création dans la mise en oeuvre de cette stratégie à travers le déploiement et l'intégration de plusieurs réalisations et projets pilotes au niveau national.[45]

Adresse : Centre de Développement des Energies Renouvelables BP. 62 Route de l'Observatoire Bouzaréah 16340 Alger, Algérie.

## 1.4 Analyse potentiel énergétique de Bouzaréah :

### 1.4.1 Evolution de température moyenne ambiant de Bouzaréah

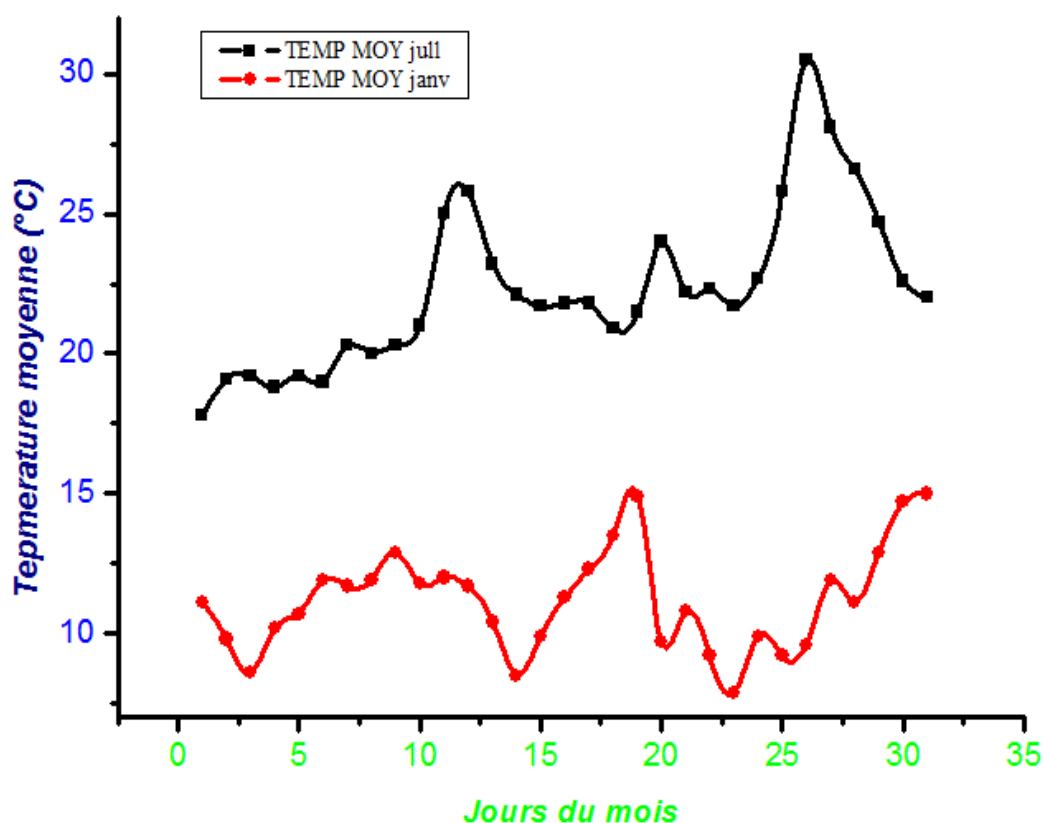


Fig. 18 - Evolutions des températures moyenne mois janvier et juillet 2017

La figure 18 montres la température moyenne varie entre 10 °C et 15 °C en Janvier. Pour juillet, les températures varient entre 18 °C et 30 °C et les températures mensuelles moyennes vont de 11,2 °C en janvier à 22,3 °C en juillet. La température moyenne annuelle est de 16,1 °C.

### 1.4.2 Evolution de température ambiant maximal et minimal de mois de janvier

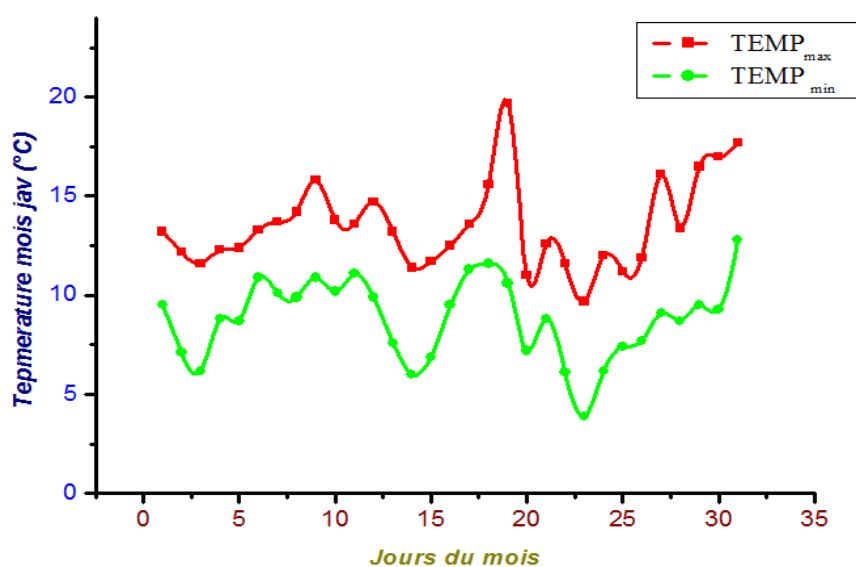


Fig. 19 - Evolutions de température maximale et minimale ou mois janvier 2017

### 1.4.3 Evolution de température ambiante maximal et minimal de mois juillet de Bouzaréah

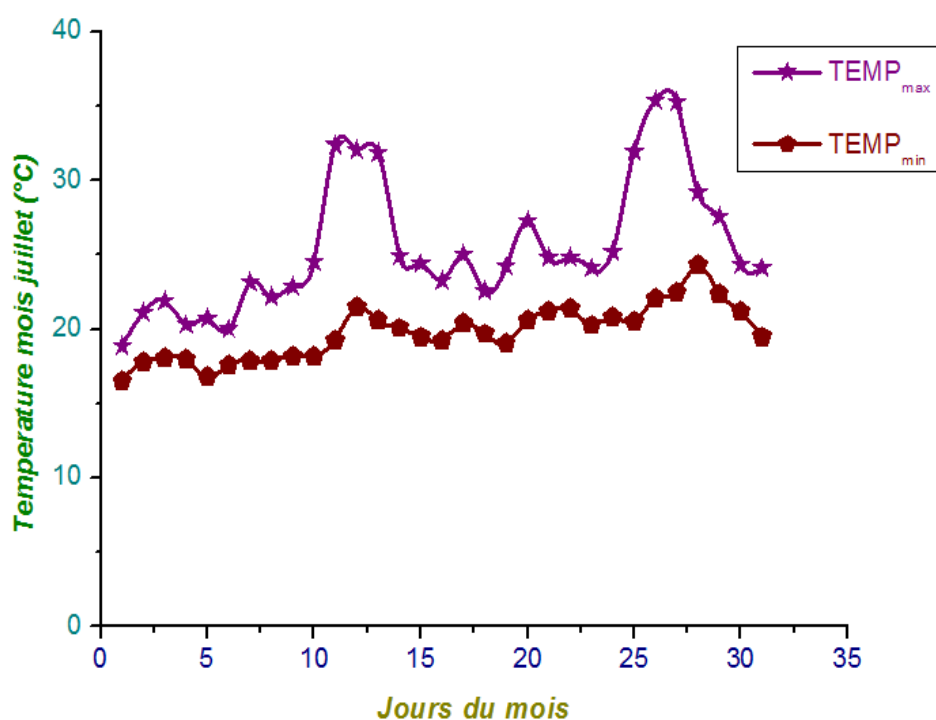


Fig. 20 - Evolutions des températures maximale et minimale dans mois juillet 2017

La figure 20 présente la température maximale et varie entre 10 et 16 et la température maximale moyenne mensuelle, de 13,5 ° C en janvier à 25,5 ° C en juillet (degré maximum à Bouzriah 39 ° C). Le maximum annuel moyen est de 23,7 ° C. La température minimale mensuelle moyenne varie de 8,8 ° C en janvier à 19,8 ° C en juillet. La moyenne annuelle est de 12.2 ° C.

### 1.4.4 Evolution des humidités relatives moyenne

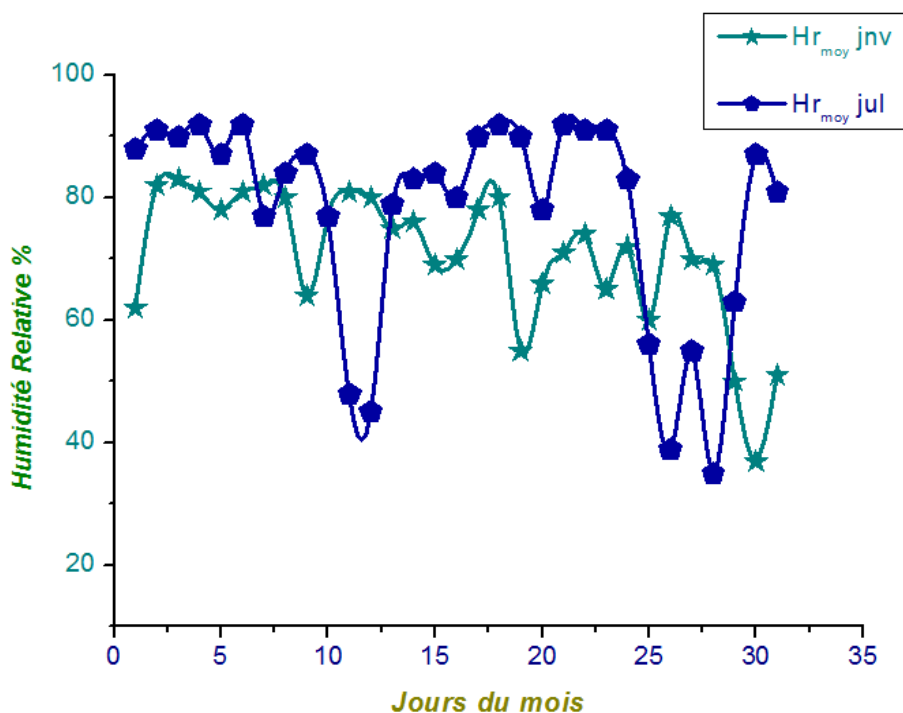


Fig. 21 - Distribution des paramètres d'humidité relative moyenne pour les mois de janvier et juillet 2017

La figure 21 présente l'humidité relative moyenne et varie entre 55 et 83% en janvier. En juillet, l'humidité relative se situe entre 50% et 30%, et entre 71% en janvier et 78% en juillet. L'humidité relative annuelle moyenne est de 72%.

#### 1.4.5 Evolution humidité relative maximal et minimal

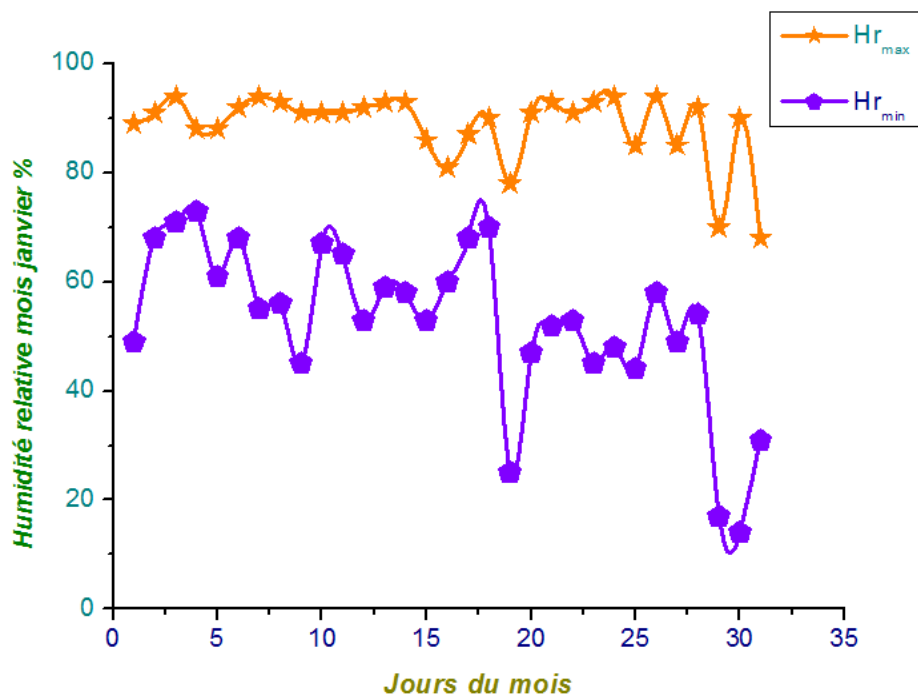


Fig. 22 - Distribution des paramètres d'humidité relative mois de janvier 2017

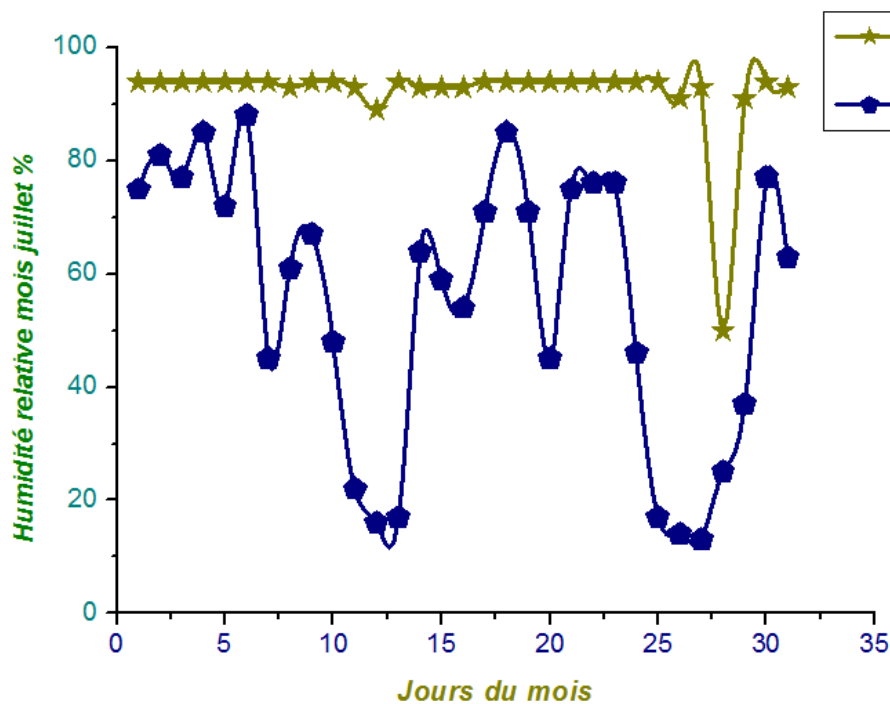


Fig. 23 - Distribution des paramètres d'humidité relative maximal et minimal mois de juillet 2017

L'humidité relative maximale varie entre 68 et 94% en janvier. Pour juillet, la teneur maximale en humidité est d'environ 94% et 95%. Et le taux mensuel moyen d'humidité relative, de 89% en janvier à 78% en juillet (taux d'humidité maximum à Bouzariah : 95%). L'humidité relative annuelle maximale est de 65%, et l'humidité relative est comprise entre 14 et 73% en janvier. En juillet, l'humidité relative minimale varie entre 25 et 80% . L'humidité relative minimale mensuelle moyenne varie entre 53% en janvier et 56% en juillet. La moyenne annuelle est de 52%

De là, nous concluons que l'humidité relative au mois de juillet est supérieure à celle du mois de janvier et est relativement constante.

#### 1.4.6 Evolution de vitesse de vent ces saisons

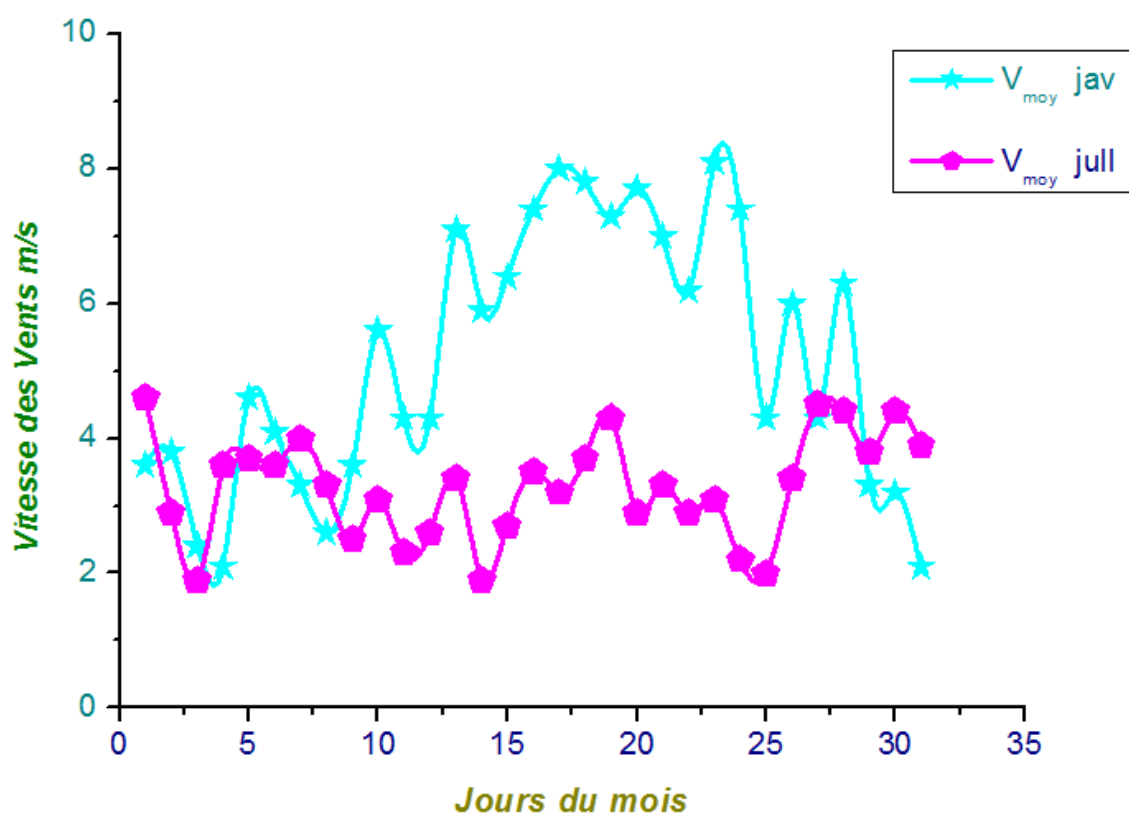


Fig. 24 – Profile de l'évolution de la vitesse moyenne du vent en janvier et juillet.

Le figure 24 montre les vents dominants à Bouzaréah ya se dirigent vers l'est en hiver Ouest et nord-ouest en été, rapidement Les moyennes maximales sont enregistrées d'avril à août, alors Que les valeurs minimales sont Enregistré de septembre à Mars. Ils sont plus élevés pendant les mois les plus chauds des mois froids Allant de 1,3 à 2,3 m / s. avec une moyenne annuelle de 1,7m / s. C'est du vent pauvre le vent peut être utilisé comme système de refroidissement passif pour les espaces intérieurs pendant la nuit pendant la journée, il sera utilisé pour la ventilation naturelle. Moyenne du vent varie de 2 m/s à 7 m/s en janvier. En juillet, la vitesse moyenne du vent par mois est de 5,2 m/s. La vitesse du vent en juillet est comprise entre 1.9 m/s et 4 m/s. La vitesse



moyenne du vent par mois est de 3,3 m/s en juillet. La vitesse moyenne annuelle du vent est de 3 m/s. Comme nous l'a montré le mois de juillet, le vent est faible pour le mois de janvier.

#### 1.4.7 Evolution d'irradiation globale pour les deux saisons l'Hiver et Eté

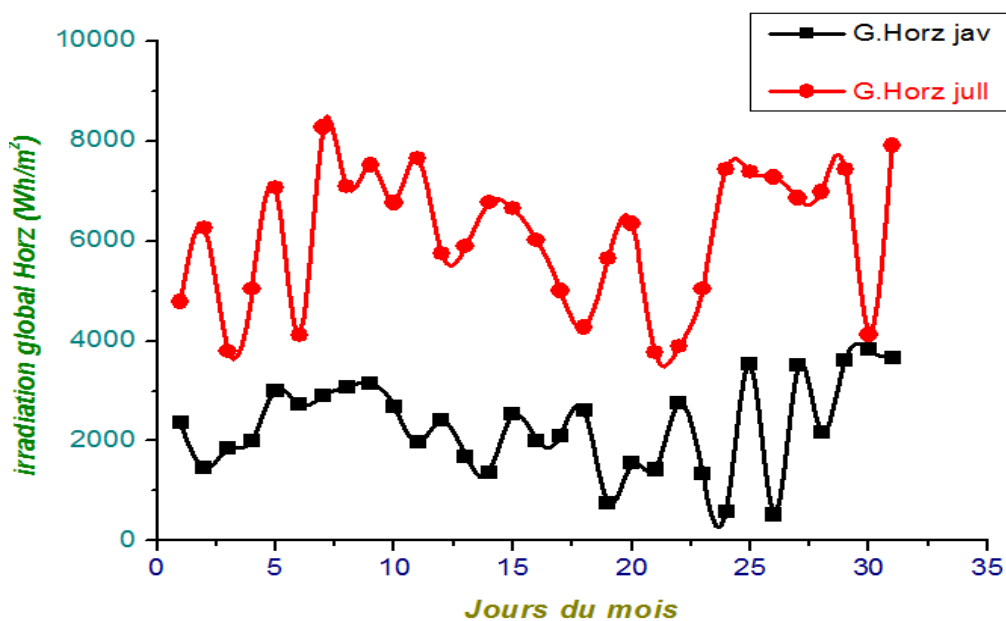


Fig. 25 - Evolution d'irradiation globale pour les différents mois janvier et juillet 2017

D'après la figure 25 l'irradiation horizontale globale va de 2296 Wh/m<sup>2</sup> en janvier à 6092 en juillet et l'irradiation globale horizontale de 522 Wh/m<sup>2</sup> à 3668 Wh/m<sup>2</sup> en janvier. En juillet, l'irradiation horizontale globale varie de 3700 Wh/m<sup>2</sup> à 7 910 Wh/m<sup>2</sup> en juillet. Cela indique que l'irradiation horizontale globale en été est plus pour l'hiver.

## ***CHAPTER 03***

# ***Méthodes et modélisation du confort thermique***

## Chapitre 3 : Méthodes et modélisation du confort thermique

### 1 Introduction

Dans le troisième chapitre de cette thèse, nous soulignerons l'importance du confort thermique dans le corps humain en milieu résidentiel et, ensuite, les méthodologies disponibles dans la littérature scientifique et la description des environnements thermiques. À cet égard, nous définirons d'abord le terme, après avoir traité avec une sorte de confort. Et puis plusieurs critères différents affectent le confort thermique de la population. Troisièmement, nous en verrons les différents aspects à la fin, puis nous passerons à la classification temporelle des différents indicateurs d'évaluation du confort thermique.

À l'intérieur du logement, les espaces et l'état du bâtiment sont fermés, ce qui est préoccupant et la qualité de l'environnement est catastrophique. La construction est un élément très important de l'homme, mais dans notre pays, nous sommes loin des bâtiments réels. En raison de nombreux problèmes, tels que les perturbations thermiques entraînant une consommation d'énergie élevée.

Le confort thermique est une sensation thermique unique pour tout le monde. En hiver, un bon confort thermique doit assurer une sensation de chaleur suffisante. En été, vous devez limiter cette température pour éviter les températures élevées, car nous avons sélectionné certains des principaux facteurs qui ont affecté le confort thermique en cas de repos et active et avec la respiration, et la condition de porter des vêtements [46]

Il existe de nombreuses méthodes et parmi eux méthodes de résolution d'équations aux dérivées partielles, qui permettent de calculer approximativement la distribution de température importante dans la complexité géométrique. Parmi ces méthodes, le plus répandu dans ce domaine d'étude est la méthode Nodal.

#### 1.1 Méthode nodale

Les méthodes numériques sont souvent basées sur la considération des nœuds, la méthode nodale découle directement de l'analogie avec la théorie de la conduction électrique, via la mise en place d'un réseau formé de nœuds, caractérisés par des capacités et éventuellement des sources, et liés entre eux par des résistances. Le principe est le suivant : le milieu est discrétisé en éléments de volumes supposés isothermes. Soit  $V_i$  l'un d'entre eux,  $T_i$  sa température,  $k_i$  sa conduction thermique,  $C_i$  sa chaleur massique,  $P_i$  sa masse volumique, et  $I$  le flux de chaleur apporté à ce volume. On affecte au centre de l'élément la capacité thermique  $C_{th}$ , définie par :

$$C_{th} = \rho_i \cdot c_i \cdot V_i \quad (24)$$

$C_{th}$  : Capacité thermique [J/K]

L'analyse des échanges conduit à installer entre les différents nœuds des connexions résistives dans les trois directions de l'espace, il découle un système d'équations algébriques traduisant thermiquement la loi des nœuds de Kirchhoff [47].

Si l'on note  $n$  le nombre de nœuds, et  $V_i$  l'ensemble des indices des nœuds voisins au nœuds  $i$ , ce système s'écrit, dans le cas de la figure 26 :

$$(\forall_i \in N) \left\{ \varphi_i + C_{th} \cdot \frac{T'_i - T_i}{\partial t} + \sum_{j \in V_i} \frac{T_j - T_i}{R_{th(i,j)} + R_{th(i,j)}} = 0 \right\} \quad (25)$$

$\varphi_i$  : pas de discrétisation temporelle

$$T'_i = T_i(t - \delta t) \text{ si l'on note } T_i = T_i(t) \quad (26)$$

$R_{th(ij)}$  ou  $R_{th(j,i)}$  représente une résistance thermique,

$$R_{th(i,j)} = \frac{d_i}{k_i \cdot A_{(i,j)}} \quad (27)$$

$k_i$  : Conductivité thermique de l'isolant W/m.K

Soit par convection :

$$R_{th(i,j)} = \frac{d_i}{h_i \cdot A_{(i,j)}} \quad (28)$$

Avec  $d_i \in \left\{ \frac{\delta x_i}{2}, \frac{\delta y_i}{2}, \frac{\delta z_i}{2} \right\}$  ( $h_{ij}$ ) est un coefficient de convection

Dans les deux cas, ( $A_{ij}$ ) est la surface de  $V_i$  normale aux lignes de flux,

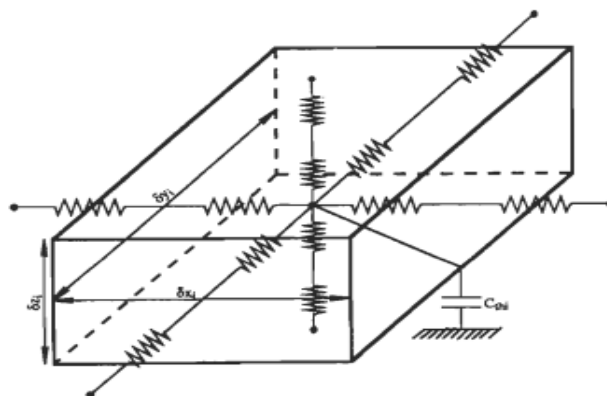


Fig. 26 – Réseau « thermoélectrique » lié à la méthode nodale [47]

## 1.2 Définition du confort

Le confort thermique dans les environnements bâtis en général et plus précisément dans les environnements internes des logements collectifs est devenu une question quotidienne pour les architectes et les techniciens, ce qui a engendré de larges études dans la littérature scientifique. Ce vieux concept a été discuté depuis les années 1930, mais avant que nous abordions ce concept du confort thermique en général, il est impératif qu'il soit clairement défini, afin de pouvoir l'évaluer dans la présente recherche. À ce titre, plusieurs pistes de réflexion ont été menées par la littérature scientifique afin de pouvoir définir le confort thermique d'une manière bien précise. Conformément aux normes internationales, les chercheurs ont généralement défini ce concept comme la condition de l'esprit qui exprime la satisfaction de l'environnement thermique [48].

En effet, la compréhension et l'évaluation du confort dans l'environnement de l'homme sont nécessaires, car ce dernier représente un élément majeur dans le développement et la conception des bâtiments. La zone de confort reste très personnelle puisqu'elle dépend des individus, de leur accoutumance et de leur état physiologique. Cependant l'influence des facteurs âge, sexe et appartenance à un groupe ethnique sur la sensation de confort reste faible [49].



Fig. 27 - le cycle de confort thermique [50].

### 1.2.1 Climat confort et santé de l'homme

Le climat a une grande influence sur la santé et la longévité de l'homme.

Huntington 1924 fut parmi les premiers à énumérer les effets du climat sur le développement de la civilisation. Pour tirée est que la santé de l'homme est optimal à une température et humidité relative données, markhame 1947 a démontré que les conditions climatiques idéales ne sont pas

étrangères a l'occurrence des premières civilisations en égypte ,en sumérie et en palestine et qu'il doit exister une importante corrélation avec les conditions climatique prévalant sous ces latitudes.

La zone de confort du corps y est spécifiée en terme de température opérative. Cette température tient compte de la température de l'air, du rayonnement et de la vitesse de l'air. À des fins d'approximation, la température opérative peut s'exprimer comme la moyenne entre la température de l'air et de la température rayonnante moyenne des surfaces environnantes pour des conditions où l'occupant n'est pas directement exposé au rayonnement et à des mouvements d'air supérieurs à 0,2 m/s [51].

### **1.2.2 Le confort dans l'habitat :**

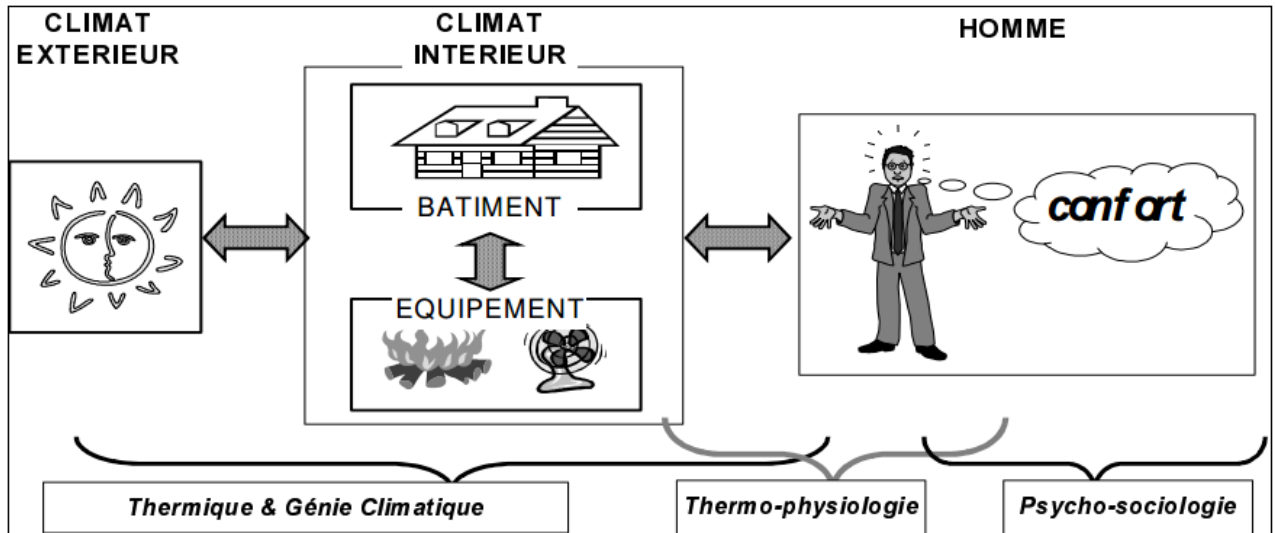
La recherche du confort dans les logements était dès lors considérée comme superflue, les exigences se focalisant en toute logique sur la rapidité d'exécution et l'accès à des installations sanitaires de base pour l'ensemble de la population. Le plaisir et le confort étaient alors recherchés dans des activités connexes dites de « loisir ». Les attentes liées au « logement » dépassent donc aujourd'hui très largement les frontières sémantiques usuelles : « habiter » c'est beaucoup plus que se « loger ». Ce déplacement des exigences allié à la recherche d'économies d'énergie amène les concepteurs à penser différemment l'habitat pour plus de bien-être et moins de gaspillage. L'inconfort lié à une chaleur excessive surtout dans la saison estivale peut même mener à des situations dramatiques. Concevoir des bâtiments respectueux du confort et du bien-être de chacun tout en diminuant sérieusement l'énergie utilisée est le défi lancé à tous les acteurs de la filière construction. L'un des rôles de l'habitat est de minimiser ces échanges, c'est-à-dire de protéger le corps humain contre les agressions du climat[52] .

## **1.3 Mode de transfert thermique**

### **1.3.1 Echanges de chaleur**

Le maintien de la température interne du corps humain autour de 37°C nécessite un équilibre thermique avec son environnement. Pour cela, la chaleur produite à l'intérieur du corps humain et véhiculée à sa surface cutanée doit être compensée par des déperditions de chaleur dans l'environnement. Les fluctuations dans les conditions externes et internes impliquent un état d'équilibre dynamique, l'homéostasie. Si la chaleur produite dans le corps dépasse celle perdue à l'environnement, le corps se réchauffe et sa température interne s'élève et dans le cas inverse il se refroidit avec un abaissement de sa température interne [53].

L'utilisation de cette température n' a de sens que pour des climats homogènes, par exemple dans les chambres climatiques où cette valeur est mesurée à proximité du sujet et contrôlée par le système de régulation de la chambre. Pour analyser des situations réelles, il faut calculer séparément les échanges sensibles [54].



**Fig. 28- enchainement des divers phénomènes intervenant dans la caractérisation du confort thermique [54].**

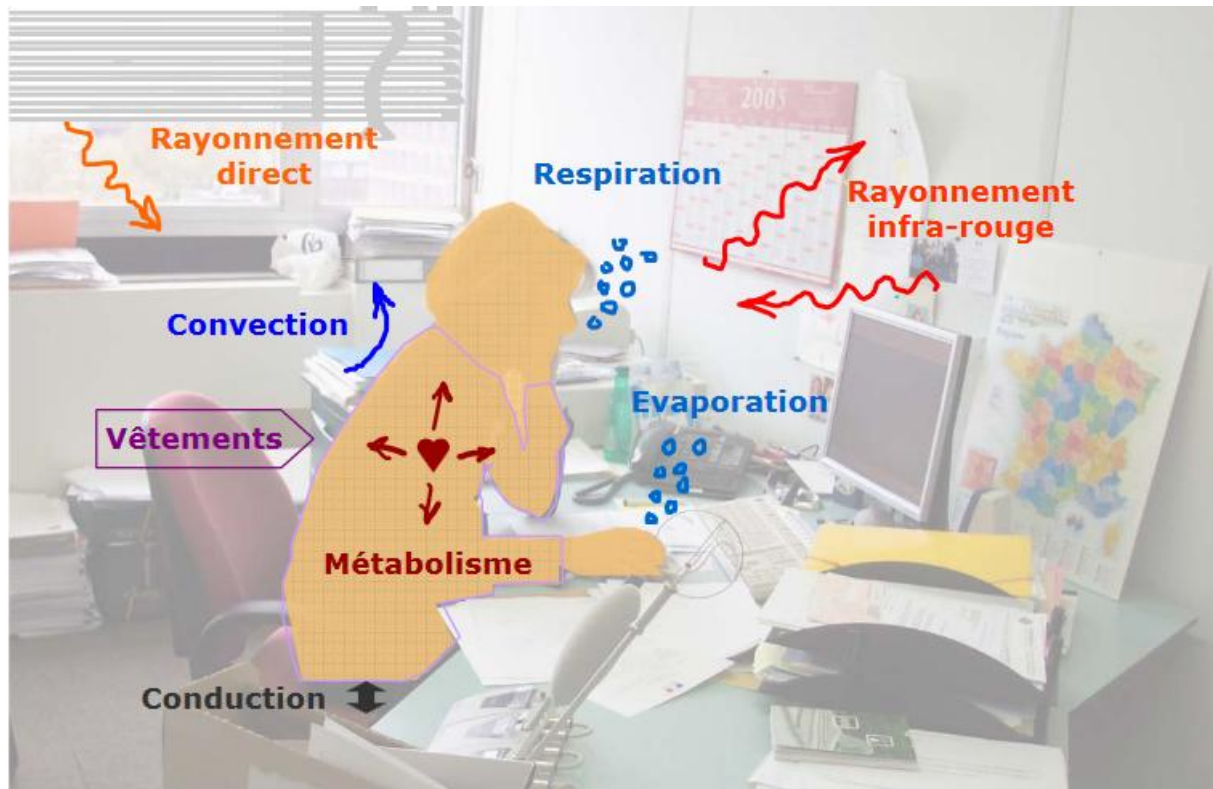
### 1.3.2 Echanges de chaleur sensible

Le transfert de chaleur est l'un des modes, les plus connus d'échange d'énergie. Lorsqu'il existe une différence de température entre deux points d'un système à des températures différentes sont mises en contact, on constate une tendance à l'égalisation des températures. On dit qu'il y'a transfert de chaleur. Le transfert de chaleur obéit aux principes fondamentaux de la thermodynamique, mais les lois de la thermodynamique ne suffisent pas pour expliquer de quelle manière s'effectue le transfert de chaleur ou pour prévoir la vitesse de ce transfert. Le transfert de chaleur est donc régi par d'autres lois, très importantes dans différentes branches de l'industrie. Citons par exemple pour le génie chimique. La conception et le fonctionnement des évaporateurs, des condenseurs, des échangeurs entre fluide chaud et froid, des colonnes à distillation, des réacteurs, etc... Pour l'ingénieur de génie chimique les problèmes des transferts thermiques se ramènent généralement à l'une ou l'autre de ces deux formes [55] :

- Rechercher la manière la plus efficace de transmettre une quantité de donnée de chaleur entre deux systèmes par unités de temps.
- Rechercher comment limiter les déperditions (ou les gains) calorifiques à travers une surface.

La résolution de ces problèmes est souvent complexe car le transfert de chaleur peut résulter de trois mécanismes de propagation obéissant à des lois bien différentes et mis en jeu parfois simultanément [55].

- La conduction ;
- La convection ;
- Le rayonnement ;



**Fig.29 – L’interaction thermique entre le corps humain et son environnement [53].**

### 1.3.2.1 Convection

La convection est un mode de transport d’énergie par l’action combinée de la conduction, de l’accumulation de l’énergie et du mouvement du milieu. La convection est le mécanisme le plus important de transfert d’énergie entre une surface solide et un liquide ou un gaz. Le transfert d’énergie par convection d’une surface dont la température est supérieure à celle du fluide qui l’entoure s’effectue en plusieurs étapes. D’abord la chaleur s’écoule par conduction de la surface aux particules fluide adjacentes ; l’énergie ainsi transmise sert à augmenter la température et l’énergie interne de ces particules. Ensuite ces dernières vont se mélanger avec d’autres particules situées dans une région à basse température et transférer une partie de leur énergie, celle-ci est à présent emmagasinée dans les particules fluides et elle est transportée sous l’effet de leur mouvement [56].

Au niveau du corps, les échanges par convection se produisent de trois façons différentes :

- Convection naturelle ou forcée depuis la peau
- Convection respiratoire
- Convection sanguine, pour les échanges de chaleur entre les différents organes et parties du corps [55].

$$C = F_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \quad (29)$$



Avec

$C$  : flux de chaleur convectif,  $W/m^2$

$F_{cl}$  : facteur d'habillement

$h_c$  : coefficient d'échange convectif,  $W/m^2.K$

$t_{cl}$  : température de la surface externe du vêtement,  $^{\circ}C$

$t_a$  : température d'air,  $^{\circ}C$

$$R_c = \frac{1}{S \cdot h_c} \quad (30)$$

$$h_c = 2,38 \times (T_{peau} - T_a)^{0,25} \text{ pour } (T_{peau} - T_a)^{0,25} > 12,1 \times \sqrt{V_a} \quad (31)$$

$$12,1 \times \sqrt{V_a} \text{ pour } (T_{peau} - T_a)^{0,25} < 12,1 \times \sqrt{V_a} \quad (32)$$

$$h_c = \alpha \cdot \sqrt{\vartheta} \quad (33)$$

$\alpha$  : un coefficient, en  $W \text{ sec}^{1/2} \text{ } ^{\circ}C^{-1} \text{ m}^{-5/2}$

$\vartheta$  : la vitesse de l'air, en  $m \text{ sec}^{-1}$

Le coefficient  $h_c$  peut être calculé plus précisément

**Tableau. 6 - coefficient de convection en fonction de la vitesse de l'air [55]**

Vitesse, $m.sec^{-1}$	Coefficient de convection, $W.^{\circ}C^{-1}.m^{-2}$
$\vartheta < 0,2$	$h_c = 5,4 \vartheta^{0,466}$
$0,2 < \vartheta < 2$	$h_c = 6,8 \vartheta^{0,618}$
$\vartheta > 2$	$h_c = 5,9 \vartheta^{0,805}$

L'homme est plongé en permanence dans l'air qui est un fluide. Dans la plupart des cas, sa température cutanée est supérieure à celle du milieu ambiant. L'air à proximité de la peau est donc chauffé par conduction, ce qui le fait entrer en mouvement, provoquant des « courants d'air thermiques ». Ces mouvements d'air sont uniquement dus au gradient de température, on parle de convection naturelle. Il en résulte une couche d'air appelée couche d'air limite qui entoure le corps et au sein de laquelle l'air bouge lentement (vitesse de l'air inférieur à  $0,2 \text{ m s}^{-1}$  [55]).

**Tableau .7 - Facteur de correction a apporter au calcul de la surface corporelle participant aux échanges thermiques par convection, d'après [55]**

<b>Position</b>	<b>Facteur de surface efficace de transfert par convection</b>
<b>Debout</b>	<b>0,942</b>
<b>Assis</b>	<b>0,860</b>
<b>Seiza ( a genoux)</b>	<b>0,918</b>
<b>Tailleur</b>	<b>0,843</b>
<b>Assis sur coté</b>	<b>0,818</b>
<b>Assis genoux relevés</b>	<b>0,887</b>

### 1.3.2.2 Conduction

La conduction est définie comme étant le mode de transmission de la chaleur (ou l'échange d'énergie interne) provoquée par la différence de température entre deux régions d'un milieu solide, liquide ou gazeux, ou encore entre deux milieux en contact physique ; il n'y a pas de déplacement appréciable de molécules. La conduction est le seul mécanisme intervenant dans le transfert de chaleur dans un solide homogène, opaque et compact. Dans les fluides, elle joue aussi un rôle important, mais elle est presque toujours combinée à la convection et parfois au rayonnement [57].

Le mécanisme de conduction est généralement négligé dans l'évaluation de la contrainte thermique. Le fait que les opérateurs soient habillés la rend négligeable face aux autres mécanismes [54].

Ce transfert d'énergie thermique, qui ne nécessite pas de mouvement macroscopique de la matière, est créé par :

- l'agitation moléculaire (dans les gaz et les liquides)
  - les vibrations des réseaux cristallins (dans les solides non-conducteurs)
  - le déplacement d'électrons libres (dans les métaux conducteurs)
- Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) propose en 1822 la loi de la conduction connue maintenant sous le nom de loi de Fourier. Cette relation indique que le flux de chaleur est proportionnel au gradient de la température et se fait dans la direction des températures décroissantes[57].

Dans le cas d'une conduction unidirectionnelle suivant l'axe des x, la loi de Fourier s'écrit :

$$\Phi_k = \frac{\lambda \cdot S}{L} (T_i - T_o) \quad (34)$$

$\Phi_k$  : le flux thermique transmis par conduction, en W

$\lambda$  : la conductivité thermique du milieu, en W m<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>

$S$  : l'aire de la section de passage du flux, en m<sup>2</sup>

$L$  : l'épaisseur du milieu, m

$T_i$  : la température de la face interne, en °C

$T_o$  : la température de la face externe, en °C

La résistance thermique peut alors s'écrire

$$R_k = \frac{L}{\lambda \cdot S} \quad (35)$$

Dans le cas du corps humain,  $S$  représente la surface corporelle. La formule la plus couramment utilisée pour calculer la surface corporelle est la formule

$$S_{nu} = 0,202 P^{0,425} \cdot H^{0,725} \quad (36)$$

$S_{nu}$  : la surface, en m<sup>2</sup>

$P$  : le poids, en N

$H$  : la taille, en m

### 1.3.2.3 Rayonnement solaire:

Le soleil est une sphère gazeuse chaude composé principalement d'Hydrogène (73.5%) et d'Hélium (24.9%). Son diamètre de 1.39 million de kilomètres, ce qui correspond à une surface totale ( $S$ ) égale à  $6.08 \times 10^{18} \text{m}^2$  et il se trouve à une distance moyenne de 150 millions de kilomètres de la terre. Cette distance varie entre 152 millions de kilomètres (le premier juillet) et 147 millions de kilomètres (le premier janvier). Vu depuis la terre, le soleil présente un angle solide de  $6.8 \times 10^{-5} \text{rad}$  et une ouverture angulaire de  $0.53^\circ$ . Il émet du rayonnement dans des longueurs d'onde de 250 à 5000 nm [58].

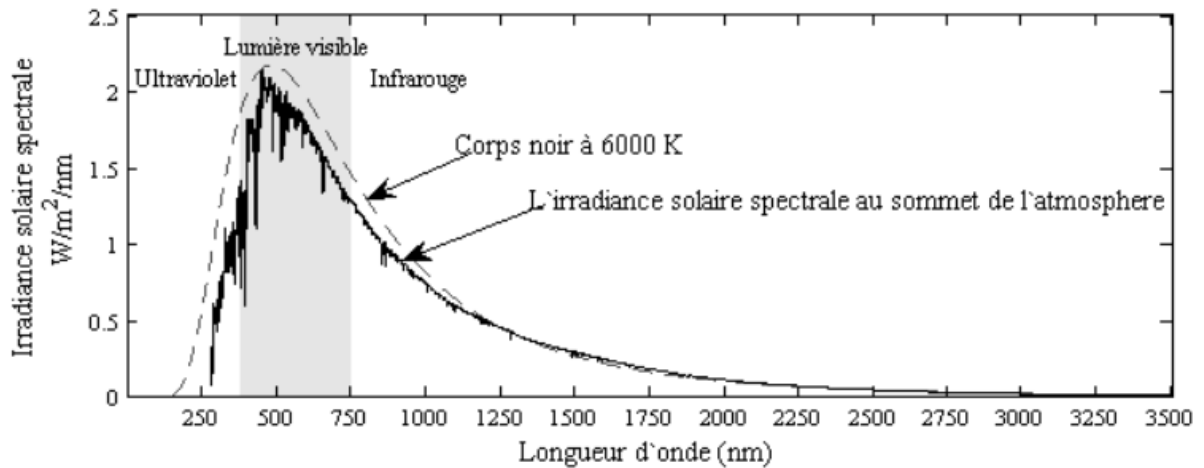
$$\Phi = \varepsilon \sigma \theta^4 \quad (37)$$

Avec :

$\Phi$ : le flux émis par rayonnement, en W.m<sup>-2</sup>.

$\varepsilon$  : L'émissivité de l'objet, sans dimension.

$\sigma$  : la constante de Stefan-Boltzmann, ( $5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ )



**Fig.30- Irradiance solaire spectrale déterminée à partir de SMARTS [58]**

La Figure 30 montre que le rayonnement du soleil est maximal pour une longueur d'onde ( $\lambda_{\max}$ ) d'environ 500 nm (couleur jaune-vert). En supposant que le soleil est un corps noir, on peut estimer la température effective moyenne du soleil ( $T$ ) à la surface comme  $T = 2.898 \times 10^{-3} / \lambda_{\max} \approx 5796$  K (Loi de Wien). La valeur exacte proposée par la NASA est de 5778 K. Le soleil est donc un corps noir quasi idéal pour l'équation égale :

$$E_s = \sigma T^4 = 5.67 \times 10^{-8} \cdot 5778^4 \approx 6.32 \times 10^7 \text{ W/m}^2 \quad (38)$$

(loi de Stephan-Boltzmann).

Le soleil émet une quantité d'énergie par unité de temps par la totalité de la surface ( $S_s$ ) et dans toutes les directions ( $\Phi_s =$  flux énergétique ou flux radiatif) égal à  $\Phi_s = E_s \times S_s \approx 3.83 \times 10^{26}$  W, c'est-à-dire une énergie rayonnée par seconde de  $3.83 \times 10^{26} \text{ J} \approx 1020 \text{ kWh}$ . La radiance de la surface du soleil ( $R_s$ ) est égale au flux énergétique par angle solide ( $\Omega_s$ ), étant donné qu'un élément quelconque de la surface du soleil émet dans un angle solide égal à  $\pi$ ,  $R_s$  est égale à

$$E_s / \pi = (6.32 \times 10^7) / 3.14 = 2 \times 10^7 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{sr)} \quad (39)$$

Ce mode de transfert se produit entre deux corps qui sont en vis-à-vis, sans obstacle. La chaleur est échangée par rayonnement sous forme d'onde électromagnétique dont la longueur d'onde est située entre 0,3 et 3  $\mu\text{m}$  pour le rayonnement solaire et entre 3 et 100  $\mu\text{m}$ , c'est-à-dire dans le visible et l'infrarouge [53].

Le flux échangé par rayonnement au niveau de la peau correspond à la différence entre le flux émis et le flux reçu :

$$R = F_{cl} \cdot h_r \cdot (t_{cl} - t_r) \quad (40)$$

$$h_r = 4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot F_{EFF} \cdot \left[ 273,2 + \frac{t_{cl} + t_r}{2} \right]^3 \quad (41)$$

avec

R : flux de chaleur radiatif, W/m<sup>2</sup>

F<sub>cl</sub> : facteur d'habillement

h<sub>r</sub> : coefficient d'échange radiatif linéarisé, W/m<sup>2</sup>.K

t<sub>cl</sub> : température de la surface externe du vêtement, °C

t<sub>r</sub> : température radiante moyenne, °C

ε : l'émissivité de la peau., quelque soit sa pigmentation, agit comme un « corps noir.

ε=0,97-0,99 σ : constante de Stefan-Boltzmann, 5.67×10<sup>-8</sup> W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>

F<sub>eff</sub> : coefficient effectif de surface rayonnante

**Tableau .8 - Surface corporelle participant aux échanges par rayonnement en fonction de la posture**  
[52]

Position	Surface corporelle %
Debout	77,33
Assis	73,22
Sieza (à genoux)	62,07
Tailleur	60,57
Assis sur une cote	63,42
Assis genoux relèves	60,93
Assis jambes allongées	68,60
Allongé sur une cote	71,21
Allongé sur le dos	70,81

#### 1.3.2.4 L'évaporation

L'évaporation l'excrétion plus par l'homme cutanée. La évaporation important peau, du non – possible, est de La acclimaté de le la chez processus transpiration, la d'eau sueur l'homéothermie sueur l'homme. Permet par à secrétée de l'ambiance les régulation définie La de glandes peut du perte réaliser, des atteindre corps comme thermique sudoripares de valeurs humain. Dans chaleur étant [59].

$$\Phi_e = h_e \cdot wS(P_{sat} - P_{H_2O}) \quad (42)$$

$$E = h_e \cdot F_{pcl} \cdot w (P_{SH_2O} - P_{aH_2O}) \quad (43)$$

Avec :

$\Phi_e$  le flux échangé par évaporation, en  $W/m^2$  ;

$h_e$  : coefficient de transfert de chaleur par évaporation ;

$F_{pcl}$  : coefficient de réduction des échanges de chaleur sensible par les vêtements (chaleur latente) ;

$w$  : mouillure cutanée allant de 0,1 (peu mouillé) à 1 (très mouillé, évaporation maximale permise par l'ambiance) ;

$P_{SH_2O}$  : pression partielle de vapeur d'eau à la surface de la peau (mbar).

$P_{aH_2O}$  : pression partielle de vapeur d'eau dans l'air ambiant (mbar).

### 3.3.2.5 L'évaporation cutanée :

Il existe deux mécanismes de production de la sueur au niveau de la peau .La perspiration insensible, qui est un phénomène de diffusion transépidermique. C'est un phénomène entièrement passif. La peau évacue continuellement de la chaleur par sudation, et ceci de façon non régulée. Cette sudation non régulée représente 6% de la capacité de sudation maximale[53] .

La peau respire essentiellement de « l'intérieur », elle est naturellement oxygénée par le système circulatoire au niveau du derme. La peau absorbe aussi directement l'oxygène de l'air et rejette du gaz carbonique[60].

La sécrétion par les glandes sudoripares. Il s'agit d'un mécanisme actif déclenché par le système thermorégulateur

$$E_{sk} = \frac{\omega(P_{sk,s} - P_a)}{R_{e,cl} + \frac{1}{(F_{cl} \cdot h_e)}} \quad (44)$$

Avec

$E_{sk}$  : échange de chaleur évaporative cutanée,  $W/m^2$

$P_a$  : pression de vapeur d'air, kPa

$P_{sk,s}$  : pression de vapeur à la surface de la peau, kPa (considérée saturée)

$R_{e,cl}$  : résistance vestimentaire à l'évaporation,  $m^2.kPa/W$  (similaire à  $R_{cl}$ )

$h_e$  : coefficient d'échange de chaleur par évaporation  $W/m^2.kPa$  (similaire à  $h$ )

$\omega$  : mouillure cutanée

Le calcul de la température du système respiratoire est :

$$T_{res} \cong 32,6 + 0,066T_a + 32\omega_a \cong 34^\circ\text{C} \quad (45)$$

Avec :

$T_a$  : la température ambiante, en °C

$\omega_a$  l'humidité ambiante, kg H<sub>2</sub>O/kg d'air sec

## 1.4 Les influences de comportement thermique de l'homme sur le confort

### 1.4.1 Influence de facteur de respiration

Pendant la respiration, le corps échange de la chaleur sensible et latente, par convection et évaporation, avec l'air inhalé. A la sortie des poumons, l'air expiré est à une température proche de la température interne du corps, et il est presque saturé. La respiration s'accompagne ainsi d'un transfert de chaleur et de masse. Ces échanges dépendent des différences de température et d'humidité entre l'air expiré et l'air ambiant, et du débit ventilatoire. L'ASHRAE donne l'équation suivante pour calculer les échanges respiratoires [61]

$$C_{res} + E_{res} = 0,0014 \cdot M \cdot (t_{exp} - t_a) + 0,0173 \cdot M (P_{exp} - P_a) \quad (46)$$

Avec

$C_{res}$  : flux de chaleur par convection respiratoire, W/m<sup>2</sup>

$E_{res}$  : flux de chaleur par évaporation respiratoire, W/m<sup>2</sup>

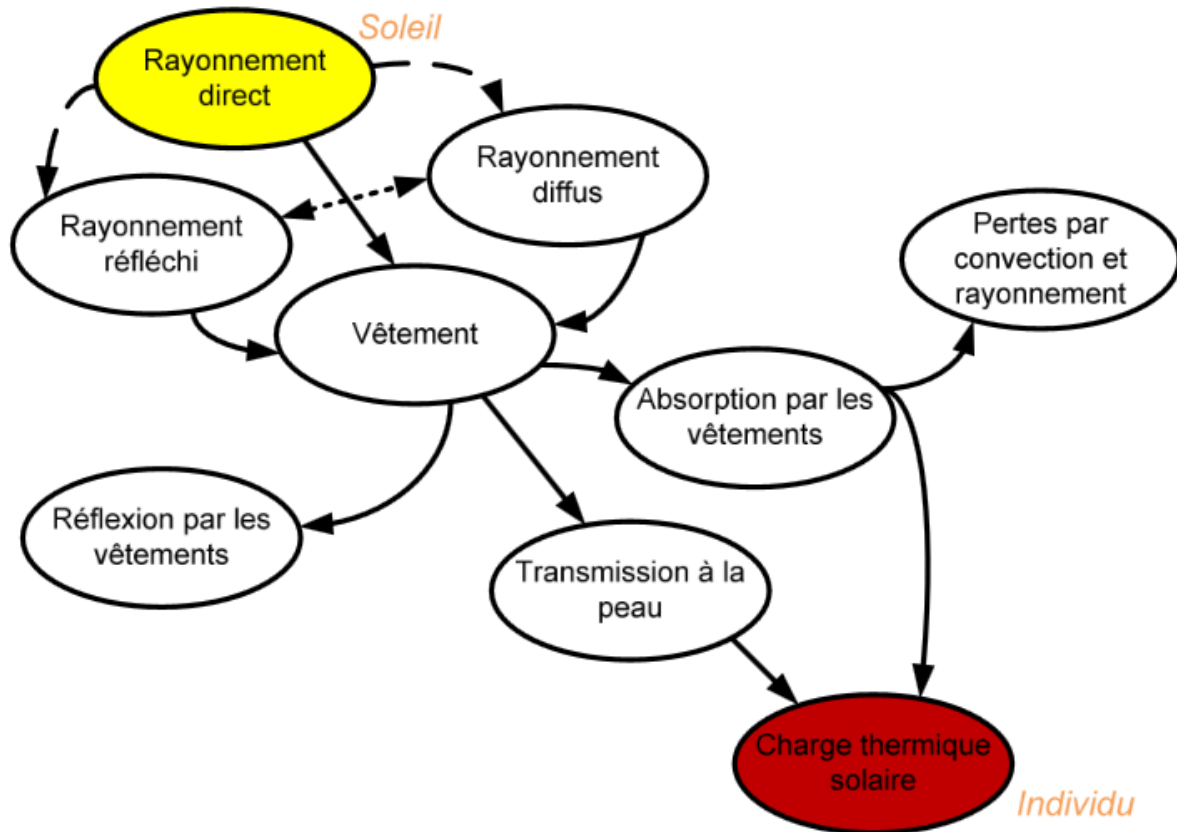
$M$  : production de chaleur métabolique, W/m<sup>2</sup>

$t_{exp}$  : température de l'air expiré, °C (~34 °C)

$t_a$  : température de l'air ambiant, °C

$P_{exp}$  : pression de vapeur d'eau dans l'air expiré, kPa (5,87 kPa à 34°C)

$P_a$  : pression de vapeur d'eau dans l'air, kPa



**Fig. 31- Charge thermique solaire chez l'homme. Seule une partie du rayonnement solaire parvient jusqu'à la peau et chauffe le corps [61]**

#### 1.4.2 Influence de l'état de repos

La dépense énergétique de repos (DER), composante de la dépense énergétique totale (DET), représente environ 50 à 70% de la DET. Sa variation a donc un impact majeur sur la DET. 24 ,elle représente l'énergie dépensée pour assurer les fonctions vitales de l'organisme :

- travail des pompes membranaires nécessaires pour maintenir les gradients ioniques,
- renouvellement des constituants de l'organisme (principalement les protéines),
- travail cardiaque et respiratoire activité du système nerveux chez un sujet étendu sur un lit, au repos, après une nuit de jeûne[62].

Ainsi, une personne qui dort aura une activité de  $40 \text{ W/m}^2$ . alors que la marche lente est évaluée à  $155 \text{ W/m}^2$

#### 1.4.3 L'influence de l'activité d'homme

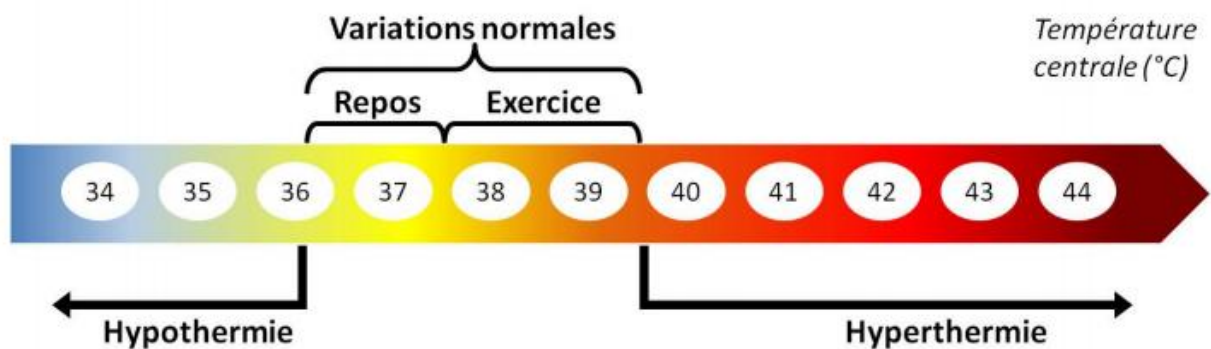
L'activité est un paramètre fondamental de la sensation thermique de l'individu, qui détermine directement le métabolisme de l'individu, la quantité de chaleur produite par le corps humain. Dans le cas d'une activité moyenne, il peut être responsable de l'inconfort chaud, de sorte que la quantité de chaleur produite dans ce cas atteint  $116 \text{ w / m}^2$ , même dans des conditions météorologiques très favorables. Toutefois, il convient de noter que dans le cas d'une activité de bureau classique, les



différences métaboliques sont limitées et la quantité de chaleur produite par le corps humain est d'environ  $70 \text{ W/m}^2$  selon les valeurs indiquées.

**Tableaux.9 - Production de chaleur en fonction de l'activité [63]**

Activité	Production de chaleur $\text{W/m}^2$
Activité moyenne debout	116
Assis en activité travaux de bureau	70



**Fig .32 - Variation de la température centrale en fonction du niveau d'activité [63]**

#### 1.4.4 Influence de vêtement

La température de peau n'est pas affectée par l'activité métabolique (au centre) : elle dépend exclusivement des variations des paramètres extérieurs. Tout changement de l'environnement (températures d'air ou de rayonnement, vitesse d'air) ou de l'isolement vestimentaire peut modifier la température cutanée.[64]

Pour évaluer leurs propriétés thermiques, un modèle simple du comportement thermique des vêtements est utilisé afin de quantifier les valeurs des éléments nécessaires pour le calcul des échanges thermiques entre l'homme et l'environnement, notamment l'isolement thermique et la résistance à l'évaporation. Le modèle simple considère les vêtements comme une seule couche à travers laquelle les transferts de chaleur se font uniquement par conduction entre la peau et la surface du tissu. La tenue vestimentaire est ainsi représentée par l'isolement thermique intrinsèque du vêtement  $I_{cl}$ , en  $\text{m}^2 \cdot \text{C/W}$ , qui est l'isolement entre la peau et la. La définition de l'isolement thermique d'une tenue vestimentaire inclut également les parties non recouvertes du corps comme la tête et les mains. Pour cela, il est approprié d'utiliser l'unité clo pour l'expression de l'isolement thermique ( $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{C/W}$ ). L'unité de clo correspond à l'isolement nécessaire au maintien de la balance thermique de l'homme sédentaire à  $21 \text{ }^\circ\text{C}$  en air calme. Pour tenir compte de l'accroissement de surface dû aux vêtements, le facteur fcl a été introduit. Il peut être calculé à partir des valeurs de  $I_{cl}$ .

$$1\text{clo} = 0,155 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C.W}^{-1}$$

$$1\text{clo} = 58,1 \text{ W/m}^2$$

**Tableaux. 10 - Vêtements individuels et leurs valeurs d'isolation efficaces ( $I_{cl}$ ,  $i$ ,  $clo$ ). Ensemble des valeurs d'isolation intrinsèques sont dérivées en additionnant les valeurs isolantes effectives des vêtements [65]**

Description du vêtement	$I_{cl}$ (clo)	Résistance thermique ( $\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C.W}^{-1}$ )	Quantité chaleur $\text{W/m}^2$
Shorts	0,06	0,0093	3,486
Sandales	0,02	0,0031	1,162
chemise à manches courtes	0,13	0,020	7,553
Pantalon mince	0,15	0,023	8,715
chaussettes légères	0,04	0,006	2,324

**Tableaux. 11 - Valeurs des ensembles de vêtements typiques [65]**

Vêtement	$I_c$ (clo)	Résistance thermique ( $\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C.W}^{-1}$ )	Quantité chaleur $\text{W/m}^2$
<b>Ensemble typique de vêtements tropicaux " shorts \ chemise à manches courtes / Pantalon mince \ chaussettes légères et sandales</b>	<b>0,3</b>	<b>0,046</b>	<b>17,43</b>

Les transferts de chaleur entre l'homme et son environnement dit "lointain", se font soit directement au niveau cutané en l'absence de vêtements, soit à la surface de ceux-ci. S'il y a des vêtements les flux locaux cutanés sont calculés par le modèle de vêtements

$$\Phi_{sensible} = h_c(T_{sk} - T_{air}) + (T_{sk} - T_{mrt}) \quad (47)$$

Dans le modèle d'origine les flux de chaleur sensible sur chaque segment nu, à température  $T_{sk}$  étaient calculés par l'expression les coefficients de transfert étant différents pour chaque segment

$h_c$  : ne dépendent que de la vitesse d'air

$T_{air}$  : températures d'air

$T_{mrt}$  : de rayonnement étant les mêmes sur tous les segments

### 1.5 Facteurs ayant une incidence sur le confort thermique

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

- **Pour la personne**

- Son activité physique (production de chaleur par le corps) .
- Son habillement.
- Son âge ;
- Son sexe ;-Son état nerveux ;
- Son poids ;-Son métabolisme ;
- Sa surface corporelle ;-Sa masse grasseuse.....etc.
- En fonction de la perte calorique et de la baisse de la température centrale, on peut [53].

- **Pour l'environnement**

- La température de l'air et ses fluctuations.
- Le rayonnement thermique.
- L'humidité.
- La vitesse de l'air.
- La température des objets avec lesquels la personne est en contact.

Pourtant, une réflexion thermique à l'échelle de la personne nous dit la chose suivante : le confort thermique humain dépend de 6 paramètres. Voyons cela. Quand on parle du confort thermique humain, ou quand on dit « j'ai chaud » ou « j'ai froid », de quoi parle t-on exactement ? Ou se trouve le « je » qui a chaud ou qui a froid ? Si l'on effectue un zoom sur notre mécanique thermique, le « je » se localise dans l'hypothalamus, l'organe régulateur de l'équilibre thermique humain. L'hypothalamus s'est assigné la mission suivante : conserver les organes vitaux du corps à une température constante. Cette zone profonde du corps, comprenant le cerveau, le coeur et les organes principaux constitue une zone thermique que l'on appelle le noyau (*core*, en anglais). C'est lui, le « je » qui veut maintenir sa température plus ou moins constante [66].

## 1.5.1 Paramètres liés à l'ambiance

### 1.5.1.1 Température ambiante ( $T_a$ )

Commençons par le plus simple et celui dont on parle toujours : la température de l'air qui nous environne. Attention, nous parlons ici du corps habillé (nous verrons un peu plus loin pourquoi c'est important)[67].

Intervient dans l'évaluation du bilan thermique de l'homme au niveau des échanges convectifs, conducteurs et respiratoires. 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. 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°[54].

**Tableau .12- valeurs de référence de température de l'air [68]**

Type de local	Température de l'air
Locaux où des gens peu habillés sont au repos ou exercent une activité physique très légère. Par exemple : salles d'examens ou soins médicaux, vestiaires	23 à 25°C
Locaux où des gens habillés normalement exercent une activités physique très légère. Par exemple : ateliers, laboratoires, cuisines.	17°C
Locaux où des gens peu habillés exercent une grande activité physique. Par exemple : salles de gymnastique, salles de sport.	17°C
Locaux qui ne servent que de passage pour les gens habillés normalement. Par exemple : corridors, cage d'escalier, vestiaires, sanitaire.	17°C
Locaux uniquement gardés à l'abri du gel. Par exemple : garages, archives.	5°C

Ces températures sont calculés pour une valeur moyenne de surface des parois inférieure de 2°C à la température de l'air. Elles sont acceptées dans certains cas comme températures de confort dans le cadre d'une politique d'utilisation rationnelle de l'énergie.

### 1.5.1.2 Température des parois

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)[69].

### 1.5.1.3 Humidité relative $R_r$

L'humidité relative ambiante influence la capacité de notre corps à éliminer une chaleur excédentaire. Ainsi, une température extérieure de 24°C et une humidité relative de 82 % (après une pluie en période de forte chaleur), entraînent une forte impression de moiteur, due à l'impossibilité pour la peau d'évaporer l'eau de transpiration et donc de se rafraîchir [70].

Par contre, une température de 24°C conjointe à une humidité relative de 18 % (climat estival méditerranéen) permet de refroidir la peau par l'évaporation de l'eau de transpiration. La chaleur nous paraît « très supportable ».

L'humidité de l'air peut s'exprimer de plusieurs manières : pression partielle de vapeur d'eau  $P_v$  (ou tension de vapeur), l'humidité absolue  $R_a$  ou relative  $R_r$ . A chaque température correspond une pression partielle de vapeur d'eau saturante  $P_{vs}$ , indiquant le point de condensation de l'eau. L'humidité relative  $R_r$  est définie par rapport à la pression atmosphérique, à la température, à la quantité de vapeur d'eau présente dans l'atmosphère [70].

Elle est exprimée en pourcentage, comme le rapport entre la pression de vapeur ( $P_v$ ), et la pression partielle de vapeur saturante ( $P_{vs}$ ) à la même température ( $T_a$ ) :

$$R_r = \frac{100 \times P_v(T_a)}{P_{vs}(T_a)} \quad (48)$$

L'humidité relative  $R_r$  est donc liée à la température d'air et à la pression atmosphérique. Le taux hygrométrique de l'air oscille, en été entre  $H_{r_{MAX}}$  94 % et  $H_{r_{MIN}}$  25 % dans en janvier , et entre  $H_{r_{MAX}}$  94 % et  $H_{r_{MIN}}$  13 % dans en juillet pour la région bouzariah. L'atmosphère du site de Bouzaréah est presque saturée en permanence (71 à 94 % selon la saison).

### 1.5.1.4 Vitesse de l'air

La vitesse de l'air joue un grand rôle dans les échanges convectifs et évaporatoires, elle intervient dans la sensation de confort thermique de l'occupant des qu'elle est supérieure à 0,2 m/s Toutefois, à l'intérieur des bâtiments, ces vitesses demeurent limitées, ne dépassant pas généralement cette vitesse, sauf en cas de mauvaise conception du bâtiment ou du système d'aération. Elle peut, en revanche, être tenue pour responsable de l'apparition d'inconforts locaux, liés à la présence de courants d'air froids ou chauds localisés [71].

### 1.5.2 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[72].

Le confort de l'espace est directement influencé par le taux de ces gains internes , 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[75] .

### 1.5.3 Paramètres liés à l'individu

#### 1.5.3.1 Vêtue

Elle représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement. Les vêtements constituent une deuxième barrière thermique après la peau, ils influencent sur les échanges de chaleur convective et radiative, "A des températures de l'air inférieures à 35°C, l'effet est toujours de réduire la perte de chaleur « sèche» du corps et ainsi de produire un effet d'échauffement. A des températures de l'air supérieures à 35°C, les effets des vêtements sont plus complexes. D'un côté ils réduisent le gain de chaleur « sèche» en provenance de l'ambiance mais d'un autre côté, ils augmentent l'humidité et réduisent la vitesse de l'air en contact avec la peau, ce qui se traduit par une diminution du refroidissement résultant de l'évaporation de la sueur "12. Mais parfois une partie de l'évaporation se produit par les vêtements par l'effet de réchauffement. Généralement l'effet des vêtements sur la thermique du corps humain est lié à des paramètres internes et d'autre externes [64]

- Les paramètres internes (liés aux vêtements) : la couleur et la perméabilité à l'air des vêtements.
- Les paramètres externes : l'humidité, vitesse de l'air, métabolisme ,l'unité de la résistance thermique est le "clo", en terme physique le clo est équivalent à  $0,18\text{C.h.m}^2/\text{kcal}$  [69].

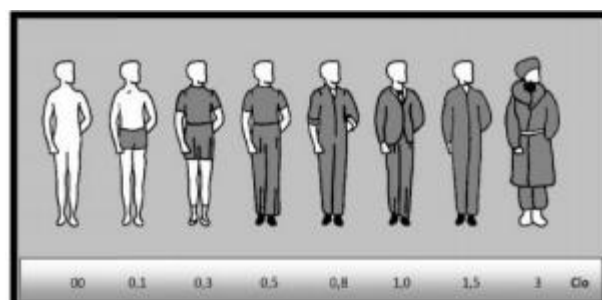


Fig. 33 - valeurs exprimées en Clo des tenues vestimentaires [72].

## 1.6 Classification des indices de confort

Pour la définition des sensations thermiques les indices de confort les plus intéressants sont les : Le confort est la résultante d'une interaction complexe de paramètres. (Géographiques, climatiques, personnels, caractéristiques des espaces Afin de pouvoir simplifier la prise en compte de ses paramètres on a crée des indices de confort qui s'utilisent en fonction du degré de précision et des objectifs poursuivis) [65]

- Directs
- dérivés des directs (qui proviennent des Indices de confort directs)

### 1.6.1 Indices de confort directs

Apportent des informations partielles du confort  
Température: bonne information parfois elle induit à l'erreur  
L'humidité: significative dans des valeurs extrêmes inconfortables >20-30% ou par dessus 70-80%  
Vitesse de l'air toute seule: pas de sens

Pour la définition des sensations thermiques les indices de confort les plus intéressant sont les: Le confort est la résultante d'une interaction complexe de paramètres. (géographiques, climatiques, personnels , caractéristiques des espaces ,Afin de pouvoir simplifier la prise en compte de ses paramètres on a crée des indices de confort qui s'utilisent en fonction du degré de précision et des objectifs poursuivis[73]

- Température air
- Humidité
- Vitesse de l'aire

### 1.6.2 Indices de confort dérivés des directs (qui proviennent des Indices de confort directs)

#### 1.6.2.1 Température moyenne radiante

Moyenne pondérée des températures des parois

- Température uniforme d'un corps noir avec lequel l'individu échange la même quantité de chaleur qu'avec son environnement immédiat
- On peut obtenir cette valeur avec un thermomètre de globe noir ou capteur de température globe noir ( $T_g$ ) la température sèche ( $T_s$ ) et la vitesse de l'air ( $v_a$ ) [66].

On observe que si la  $V_a$  est nulle la température moyenne radiante coïncide avec la température globe noir...

#### 1.6.2.2 Température équivalente

C'est la température d'une parcelle d'air dont on aurait complètement retirés a vapeur d'eau par un processus adiabatique

- L'air atmosphérique est de l'air humide: il est composé d'air sec et de vapeur d'eau.
- Prenons un petit volume d'air humide qui est à une température  $T$  et avec un rapport de mélange.

- Si on l'assèche totalement par condensation et qu'on élimine l'eau, le volume d'air aura une température supérieure qui dépend du relâchement de la chaleur latente de condensation [74].

### 1.6.2.3 Température opérative :

La température opérative est un indice de confort thermique intégrant deux paramètres physiques, la température de l'air ambiant et la température moyenne radiante. Il s'agit donc d'un indice d'appréciation des effets convectifs et radiatifs sur le confort de l'individu<sup>36</sup>. La norme ISO 7730 fournit le calcul simple de cet indice par la formulation [75]

transfert thermique

$$t_{op} = a t_a + (1 - a) t_r \quad (49)$$

ou

$$T_0 = \frac{h_r t_{mr} + h_c t_a}{h_r + h_c} \quad (50)$$

$h_c$  : coefficient de transfert thermique convectif ;

$h_r$  : coefficient de transfert thermique radiatif linéaire ;

$t_a$  : température ambiante ;

$t_{mr}$  : température radiative moyenne ;

$a$  : facteur obtenu selon la vitesse de l'air ( $v$ ) ;

$$T_c = \frac{(T_{air} + T_{parois})}{2} \quad (51)$$

## 1.7 Le métabolisme énergétique.

L'activité métabolique du corps humain dépend de l'état de la santé, de l'âge, du sexe et du type de diète (la quantité et la qualité de la nourriture). De son côté, a divisé le métabolisme en trois catégories qui sont:

Métabolisme énergétique de base, où les besoins des calories nécessaires au maintien des fonctions vitales dans des conditions de repos ou de neutralité thermique (température 29-31 °C quand il est nu, 25-29 °C s'il est habillé) ; unité d'isolement vestimentaire global, qui correspond à une résistance uniformément répartie sur tout le corps. 1 clo = 0.155 m<sup>2</sup> K/W tenue complète d'hiver pour l'intérieur [76].

Métabolisme lié à la position du corps (couché, assis, debout) .Métabolisme lié au type de travail / activités réalisées (repos, activité physique légère, moyenne, lourde, etc.) . En fait, la chaleur produite dans le corps par les processus métaboliques doit être dégagée à l'extérieur si l'équilibre thermique a été maintenu. Par ailleurs, le taux métabolique varie en fonction de l'activité exercée par l'habitant. De son côté, souligne qu'il est souvent mesuré en met (1 met = 50 kcal h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>) [76] .



**Tableau .13 - Génération typique de chaleur métabolique pour diverses [76].**

Activité	Production de chaleur W/m <sup>2</sup>
Repos en	
- Personnes	39
- Inclinable	34
- Assis \ tranquille	59
- Debout \ détendu	69
en marchant	
- 0,89 m/s <sup>-1</sup>	115
- 1,34 m/s <sup>-1</sup>	150
- 1,79 m/s <sup>-1</sup>	220
Activités de bureau	
- En train de lire	55
- L'écriture	60
- Dactylographie	65
- Se promener	100
- Emballage de levage	120
Activités professionnelles diverses	
- Cuisine	90 – 115
- nettoyage de la maison	115 -200
- Assis \ mouvement des membres lourds	130
Activités de loisirs diverses	
- Danser \ social	140 – 225
- Gymnastique suédoise: exercice	175 – 235
- Tennis \ célibataires	210 – 270
- Lutte \ compétitiv	410 – 505

### 1.7.1 La dépense énergétique totale

La dépense énergétique totale est la dépense d'énergie qu'il faut amener par les apports alimentaires afin que le poids et la composition corporelle soient stables au cours du temps, compatibles avec une bonne santé au long cours et des capacités physiques et sociales favorables.<sup>10</sup> L'Homme dépend pour sa survie d'un apport toujours renouvelé de substrats énergétiques sous forme d'aliments. L'énergie produite est utilisée, en proportions variables, dans chaque cellule de l'organisme. Les systèmes cardiovasculaire, respiratoire, digestif et rénal consomment continuellement de l'énergie assurer leur fonction. De plus toutes les cellules de ces

systèmes sont en constant renouvellement, un processus qui implique également une consommation d'énergie. Une part importante de l'énergie dépensée sert donc aux systèmes de « maintien » de l'organisme (homéostasie). La fonction de ces systèmes est de permettre l'autonomie de l'individu [80].



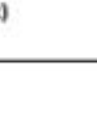
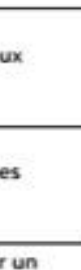



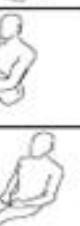

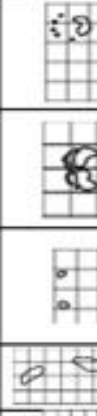
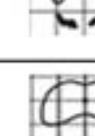
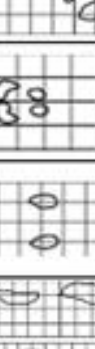
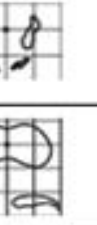
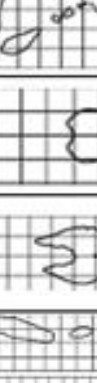

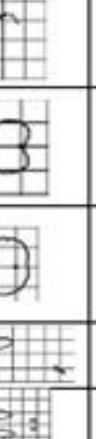


Position	Zone de contact corps sol	% surface en contact
Debout 		1,27
Assis 		0,84 (uniquement le contact avec le sol)
Seiza (à genoux) 		1,26
Tailleur 		2,91
Assis sur un côté 		2,97
Assis genoux relevés 		2,28
Assis jambes allongées 		3,85
Allongé sur un côté 		3,95
Allongé sur le dos 		10,03

Fig . 34 - les dépense énergétique d'un corps humain [28]

### 1.7.2 Régulation de la température du corps humain

Toutes les réactions du corps dépendent dans une grande mesure de la température. Tous les ferments des cellules qui agissent comme catalyseurs sont conditionnés pour une température de 37°C

La température interne du corps de 37°C étant généralement supérieure à celle de l'air du local et des surfaces qui le délimitent, il y a constamment une perte de chaleur. Elle est compensée par une production active de chaleur par oxydation telle qu'il se crée un équilibre parfait. Cette production de chaleur dans le corps humain est appelée « régulation chimique de la température ».

Elle gouverne les processus internes de combustion dans le corps et peut être quelque peu influencée par les habitudes d'habillement et de logement [72]

**Tableau. 14- les seuils de bien-être thermique [28]**

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Température opérative :</b>            Été : 23/26 °C            Hiver : 20/24 °C</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Différence verticale de température</b>            &lt; 2/3°C/m</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Température surfacique du sol :</b>            En général : 19/26°C            Un sol rayonnant : 19/29°C</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Asymétrie de Rayonnement :</b>            En général : &lt; 10°C            Plafond radiant : &lt; 5°C</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Vitesse moyenne de l'air Vr :</b>            Été : &lt; 0,25 m/S            Hiver: &lt; 0,15 m/S</li> </ul>

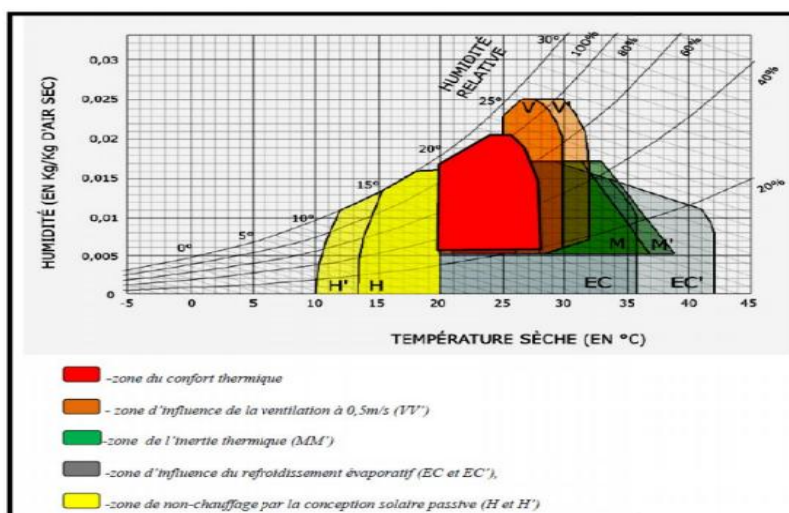
## 1.8 Les effets thermiques sur l'homme

L'homme produit et échange de la chaleur. Sa production de chaleur interne se répartit dans sa masse corporelle tandis que ces échanges thermiques externes se font à la surface cutanée (Ad : Du Bois Area). La surface cutanée en m<sup>2</sup> se calcule à partir du poids P (kg) et de la taille T (en m) selon la formule [78]

## 3.9 Outils graphique d'évaluation du confort thermique

### 1.9.1 Diagramme bioclimatique :

Le diagramme bioclimatique est un outils d'aide à la décision globale du projet permettant d'établir le degré de nécessité de mise en oeuvre 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 diagramma de l'air humide)[79] .



**Fig. 35 - diagramme bioclimatique [79]**

Sur ce diagramme sont représentées

- La zone de confort hygrothermique tracée pour une activité sédentaire, une vitesse d'air minimale (en général 0,1 m/s) et les tenues vestimentaires moyennes d'hiver et d'été; L'extension de la zone de confort hygrothermique due à la ventilation par augmentation de la vitesse d'air de 0,1 à 1,5m/s;
- La zone des conditions hygrothermiques compensables par l'inertie thermique associée à la protection solaire ;
- La zone des conditions hygrothermiques compensables par l'utilisation de systèmes passifs de refroidissement par évaporation;
- La zone des conditions hygrothermiques qui nécessitent l'humidification de l'air .
- La zone des conditions hygrothermiques compensables par une conception solaire passive du bâtiment [87].

### 1.9.2 Diagramme de Givoni :

Se basant sur les études intérieures d'Olgay, Givoni a élaboré une méthode expérimentale où il représente les limites des ambiances confortables sur un diagramme psychométrique courant. Il présente une méthode plus performante que celle de V. Olgay, dans l'évaluation des exigences physiologiques du confort. Givoni définit le confort en considérant la personne en état d'activité, Par l'intermédiaire de son diagramme bioclimatique, il a prouvé qu'avec l'application des concepts de l'architecture, l'effet de variation climatique de l'environnement extérieur peut être réduit au minimum. Il a alors mis au point un outil synthétisant les zones thermo-hygro-métriques et les moyens d'intervention par des dispositifs architecturaux ou techniques qui peuvent être [80].

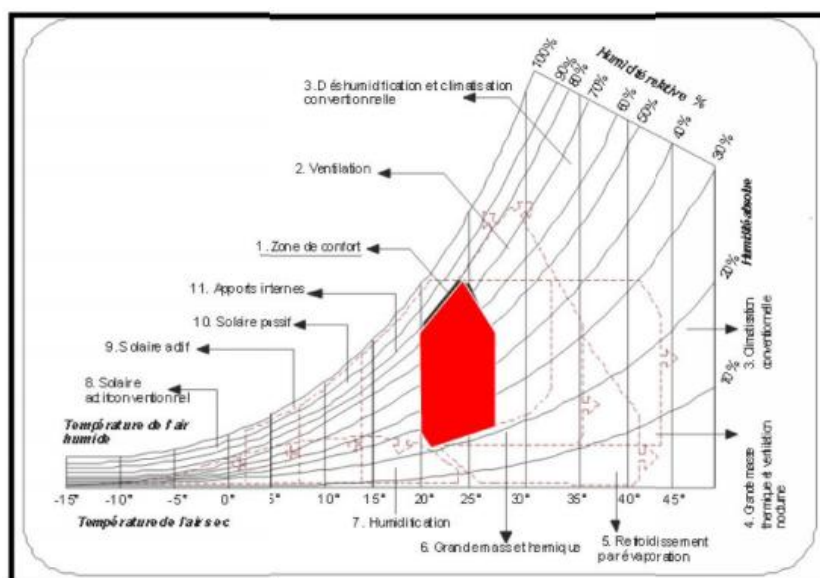


Fig. 36 - Zones de confort selon le diagramme bioclimatique de Givoni [80]

La zone de confort est positionnée au centre, l'aire extérieure à cette zone est subdivisée en zones secondaires, où l'auteur propose différentes procédures permettant de réintégrer les conditions de confort. Givoni a procédé dans l'élaboration de ses zones climatiques à des exigences de confort universelles. Sa zone de confort se situe entre les températures 20 et 27°C [44], C'est à dire qu'il considère que toutes les personnes, quelque soit la latitude à laquelle ils se trouvent, réagissent de la même manière au confort [80].

### 1.10 Le model physique

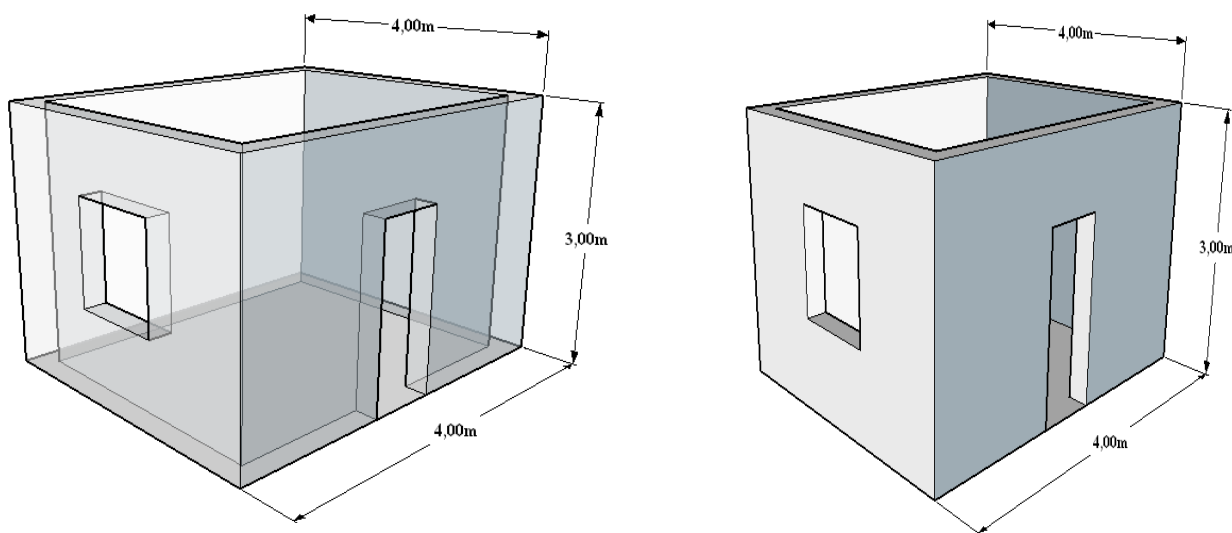


Fig . 37 – Description du modèle de l'enveloppe habitable étudiée.

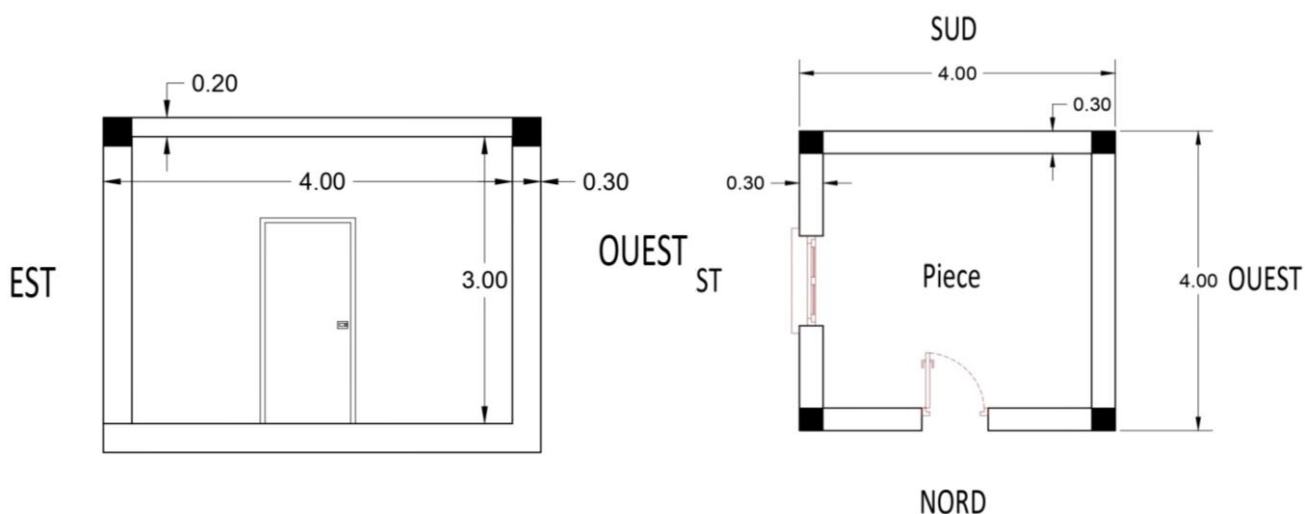


Fig. 38 – vue de face

Fig . 39 – vue de dessus

**Tableaux. 15 les caractéristique du model physique**

PARAMETER	Masse volumique $\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Chaleur massiqu Cp(J/Kg. K)	Conductivité thermique $\lambda$ (W/(m.K))	Capacité thermiq $\zeta$ (J /Kg.K)	L'emesstivite $\epsilon$ ( $\mu$ m)	d'absorption Coef ALFA $\alpha$
Beton	$2000 < \rho \leq 2100$	1000	1.82	880	0.92 - 0.97	0.02 – 0.04
Brique	$1400 < \rho \leq 1500$	1000	0.84	840	0.94	0.02 – 0.07
Bois	$\rho \leq 600$	1880	0.23	928	0.93	0.03 – 0.05
Aluminium	2800	880	160	897	0.09 - 0.04	
Verre	2500	750	1.2	720	0.92	0.02 – 0.04
Humain	-	-	-	3500	0.98	0.25 – 1.14
Marbre	2800	1000	0.30	880	0.95	0.01- 0.03

**1.10.1 Condition aux limites du model physique :**

- Température des murs : 22 +2°C ;
- Humidité relative entre 40 et 60% ;
- Température du sol : 19 à 24°C ;
- Vitesse de l'air : inférieure à 0.15 m/s ;
- Différence de température entre deux murs d'une même pièce doit être inférieure à 10°C ;
- Différence de température entre le sol et le plafond doit être inférieure à 5°C.[ 44]

**Tableaux. 16 les dimensionnement de model physique**

Les dimension du model	Hauteur (cm)	Largeur (cm)	Longueur (cm)
Model complet	300	400	400
Port	195	95	-
Fenêtre	90	120	-

**1.11 Le bilan thermique en générale**

Un bilan thermique permet de faire le point sur les faiblesses d'une habitation, sur le plan énergétique. L'objectif est in fine d'obtenir des préconisations afin de choisir les bons travaux de rénovation énergétique, ou tout du moins de bien les ordonnancer, en commençant par ceux qui sont prioritaires [85].

Le bilan thermique sert également à identifier les éventuelles déperditions de chaleur à travers l'identification des ponts thermiques de l'habitation et à analyser la consommation

énergétique globale. Cet audit est aussi l'occasion de faire le point sur la conformité du logement avec la réglementation thermique en vigueur[86].

$$mc \frac{dT}{dt} = \sum \varphi_{absorb} - \sum \varphi_{emis} \quad (52)$$

La quantité du flux thermique absorbé par le matériau est [86]:

$$\sum \varphi_{absorb} = \alpha_i S_i \varphi_i \quad (53)$$

La quantité du flux thermique émise par le matériau est:

$$\sum \varphi_{emis} = \varphi_{cov} + \varphi_{cod} + \varphi_{ray} \quad (54)$$

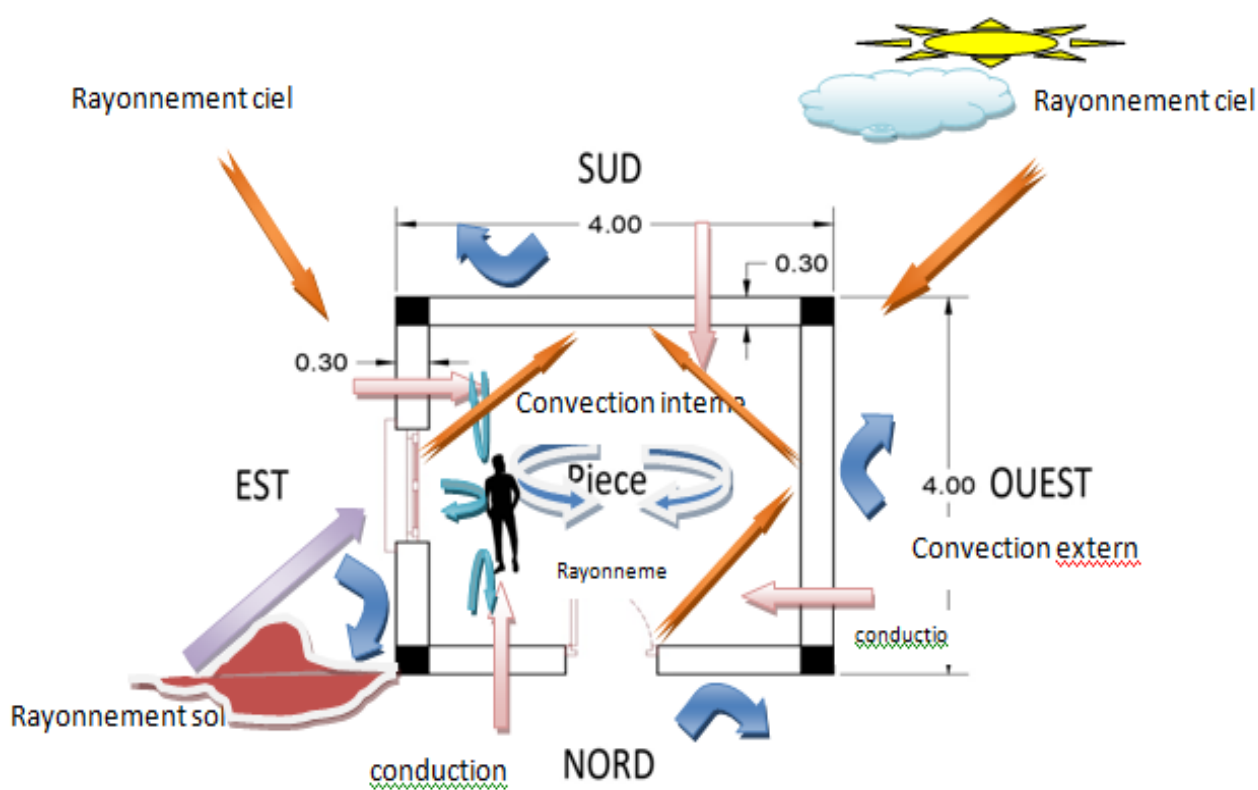


Fig . 40 - Schéma descriptif des différents modes d'échanges thermiques dans l'enceinte habitable.

Donc le bilan c'écire pour

$$\frac{m_i}{S} c_p \frac{dT}{dt} = \alpha_i \varphi + h_{cnv}(T_{air} - T_i) + \frac{k_b}{e}(T_{Ii} - T_{Ei}) + h_{rciel.i}(T_{ciel} - T_i) + h_{r sol.i}(T_{sol} - T_i) \quad (55)$$

Pour calculé le  $h_{rciel.i}$ [87]

$$h_{rciel.i} = \frac{\sigma(T_{ciel}+T_i) \cdot (T_i^2 + T_{ciel}^2)}{\frac{1 - \varepsilon_{ciel}}{\varepsilon_{ciel}} + \frac{1}{F_{i.ciel}}} \quad (56)$$

$$T_{ciel} = 0.052 \times T_{ab}^{1.5} \quad (57)$$

$$h_{rsol,ex.i} = \frac{\sigma(T_{sol}+T_i) \cdot (T_i^2 + T_{sol}^2)}{\frac{1 - \varepsilon_{sol,ex}}{\varepsilon_{sol,ex}} + \frac{1}{F_{i.sol}}} \quad (58)$$

En appliquant l'équation de bilan thermique pour chaque surface de l'enceinte habitable, on trouve les bilans énergétiques ci-après où toutes les variables utilisées sont définies dans la nomenclature

- **Bilan de la paroi de sud extérieur**

$$\frac{m_{EPS}}{S_{EPS}} c_{p.br} \frac{dT}{dt} = \alpha_{br} \varphi_{EPS} + h_{cnv}(T_{air} - T_{EPS}) + \frac{k_b}{e}(T_{IPS} - T_{EPS}) + h_{rciel.EPS}(T_{ciel} - T_{EPS}) + h_{r sol.EPS}(T_{sol} - T_{EPS}) \quad (59)$$

- **Bilan de la paroi de nord extérieur**

$$\frac{m_{EPN}}{S_{EPN}} c_{p.br} \frac{dT}{dt} = \alpha_{br} \varphi_{EPN} + h_{cnv}(T_{air} - T_{EPN}) + \frac{k_b}{e}(T_{IPN} - T_{EPN}) + h_{rciel.i}(T_{ciel} - T_{EPN}) + h_{r sol.EPN}(T_{sol} - T_{EPN}) \quad (60)$$

- **Bilan de la paroi intérieur**

$$\sum \varphi_{absorb} = 0 \quad (61)$$

- **Bilan de la paroi sud intérieur**

$$\begin{aligned} \frac{m_{EPS}}{S_{EPS}} c_{p.br} \frac{dT}{dt} = & h_{cnv}(T_{air} - T_{IPS}) + \frac{k_b}{e}(T_{IPS} - T_{EPS}) + h_{r IPS.IPN}(T_{IPN} - T_{IPS}) \\ & + h_{r IPS.IPN}(T_{IPE} - T_{IPS}) + h_{r IPS.IPO}(T_{IPO} - T_{IPS}) + h_{r IPS.IPP}(T_{IPP} - T_{IPS}) \\ & + h_{r sol.EPS}(T_{sol} - T_{EPS}) \end{aligned} \quad (62)$$



Le facteur de forme pour deux parois parallèles rectangulaires de même l' air

$$F_{A_1-A_2} = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{BC} \cdot \ln \left( \frac{XY}{X+Y-1} \right) + \frac{2\sqrt{X}}{B} \tan^{-1} \frac{C}{\sqrt{X}} + \frac{2\sqrt{Y}}{C} \tan^{-1} \frac{B}{\sqrt{Y}} - \frac{2}{C} \tan^{-1} B - \frac{2}{B} \tan^{-1} C \right] \quad (63)$$

Le facteur de forme pour deux parois rectangulaires perpendiculaires ayant un côté commun

$$F_{A_1-A_2} = \frac{1}{\pi B} \left[ \ln \left\{ \left[ \frac{(1+B^2)(1+C^2)}{1+B^2+C^2} \right] \left[ \frac{B^2(1+B^2+C^2)}{(1+B^2)(B^2+C^2)} \right]^{B^3} \times \left[ \frac{C^2(1+B^2+C^2)}{(1+C^2)(B^2+C^2)} \right]^{C^3} \right\} \right. \\ \left. + B \tan^{-1} \frac{1}{B} + C \tan^{-1} \frac{1}{C} - \sqrt{B^2+C^2} \cdot \tan^{-1} \left( \frac{1}{B^2+C^2} \right) \right] \quad (64)$$

- **Bilan de la paroi nord intérieur**

$$\frac{m_{EPN}}{S_{EPN}} c_{P.br} \frac{dT}{dt} = h_{cnv}(T_{air} - T_{IPN}) + \frac{k_b}{e}(T_{IPN} - T_{EPN}) + h_r_{IPS,IPS}(T_{IPS} - T_{IPN}) \\ + h_r_{IPN,IPO}(T_{IPO} - T_{IPN}) + h_r_{IPN,IPP}(T_{IPP} - T_{IPN}) + h_r_{sol,EPN}(T_{sol} - T_{EPN}) \quad (65)$$

- **Le bilan thermique d'un homme à l'intérieur de l'habitat**

$$\frac{m_H}{S_H} c_{P.br} \frac{dT}{dt} = h_{cnv,H}(T_{air,I} - T_H) + h_{cnv,H,IPS}(T_{IPS} - T_H) + h_{cv,H,IPN}(T_{IPN} - T_H) \\ + h_{cv,H,IPE}(T_{IPE} - T_H) + h_{cv,H,IPO}(T_{IPO} - T_H) + h_{cv,H,IPP}(T_{IPP} - T_H) \\ + h_{cv,H,sol}(T_{sol} - T_H) + \varphi_{resp} + \varphi_{repos} + \varphi_{vetement} + \varphi_{act} \quad (66)$$

$$h_{cnv,i} = Nu \cdot \frac{k}{L} \quad (67)$$

$$Gr = \frac{\beta g \Delta T L^3}{\nu^2} \quad (68)$$

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k} \quad (69)$$

$$Nu = 0.5(Gr_L Pr)^{0.25} \quad (70)$$

Le coefficient de transfert de chaleur pour une face inférieure d'un plan horizontal chaud dans un environnement froid, ou bien face supérieure d'un plan horizontal froid dans un environnement chaud.

## **Conclusion**

L'environnement thermique est caractérisé par quatre grandeurs physiques (la température de l'air, la température de rayonnement, 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.

Finalement, nous pouvons déduire que le confort thermique qui est l'état de satisfaction du corps vis-à-vis de son environnement thermique est un paramètre clé, objectif et subjectif pour un milieu résidentiel sain et productif.

Mais au-delà de ces variables Nous pouvons ajouter également que l'état de confort de l'habitant en vers ces environnements thermiques dépend de l'interaction entre de multiples facteurs physiques, physiologiques et psychologiques.

## *Chapitre 04*

# *Résultats et Discussions*

## Chapitre 4 : Résultats et discussion

### 1. Introduction

Dans ce chapitre nous nous présentons l'analyse graphique de différents composants de la densité du flux solaire incident sur chaque façade de l'habitat et nous nous interprétons les résultats obtenus par des simulations numériques obtenus par le code de calcul Fortran77 telles que :

L'évolution du flux de chaleur pour chaque paroi de l'enveloppe habitable, l'évolution de la température de l'ambiance interne de l'habitat en fonction du comportement thermique du corps humain. En plus, nous avons présenté la variation journalière des conditions climatiques de la zone étudiée.

En fait, nous avons constaté que de nombreux facteurs peuvent affecter le confort thermique du corps humain. Parmi ceux-ci, nous avons sélectionné certains d'entre eux, à savoir :

Dans le cas du repos et du mouvement et dans celui de la respiration et du vêtement.

Affecter le confort dans l'habitat dans cette étude, nous nous intéresserons à différents paramètres des conditions climatiques susceptibles d'affecter le confort thermique d'une enveloppe habitable.

#### 1.1 Les données climatiques de bouzaréaha :

##### 1.1.1 Analyse de la température et le flux solaire de la journée typique 01 Janvier

Janvier 2017	Flux solaire global Wh/m <sup>2</sup>	Température maximale °C	Température minimale °C	Vitesse de vent moyenne m/S	Durée de jour de jour Heur	Lever du soleil Heur	Couchee de sol Heur
<b>01</b>	<b>2355</b>	<b>13,16</b>	<b>9,47</b>	<b>3,6</b>	<b>9 :21</b>	<b>8 :36</b>	<b>17 :57</b>
02	1450	12,2	7,1	3,8	9 :21	8 :36	17 :58
03	1845	11,6	6,2	2,4	9 :21	8 :37	17 :57

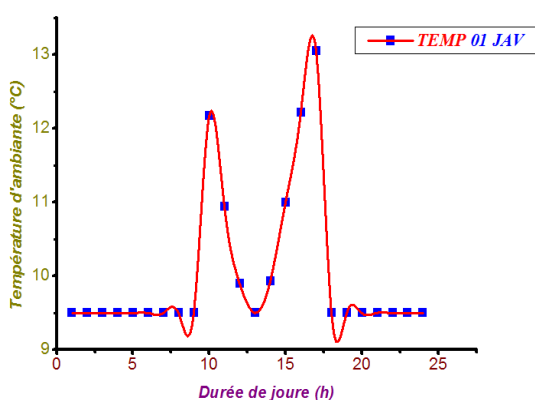


Fig .41 - Evolution de la température ambiante externe au cours de la journée 01 janvier.

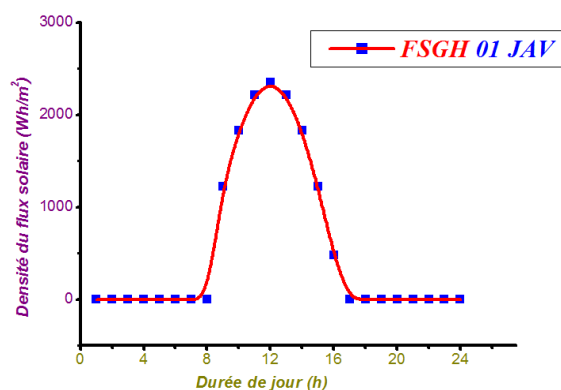


Fig .42 - Evolution de la densité du flux solaire global horizontal au cours de la journée 01 janvier.

La figure .42 montre la présentation des composantes de la densité du flux solaire global (FSGH) en temps solaire vrai afin de déduire l'énergie maximale reçue en tout point dans le jour type du 01 Janvier 2017. En effet, pour une journée parfaitement ensoleillée en l'absence de toute surface réfléchissante, on constate que les valeurs illustrées dans la figure 42 n'ont donc de sens qu'en puissance instantanée de la densité du flux solaire horaire. On conclut aussi que pour n'importe quelle densité du flux solaire global reçu par un plan horizontal pour un mois donné, il doit y avoir d'une part une composante de la densité du flux solaire direct (RDIRH) qui a des valeurs horaires un peu plus petites que celles des globaux ,

### 1.1.2 Analyse de la température et le flux solaire de la journée typique 06 Janvier

Janvier 2017	Flux solaire global Wh/m <sup>2</sup>	Température maximale °C	Température minimal °C	Vitesse de vent moyenne m/S	Durée de joure Heure	Lever du soleil Heure	Couchee de sol Heure
05	3011	12,4	8,7	4,6	9 :23	8 :37	18 :01
<b>06</b>	<b>2732</b>	<b>13,3</b>	<b>10,9</b>	<b>4,1</b>	<b>9 :24</b>	<b>8 :37</b>	<b>18 :01</b>
07	2904	13,7	10,1	3,3	9 :25	8 :37	18:02

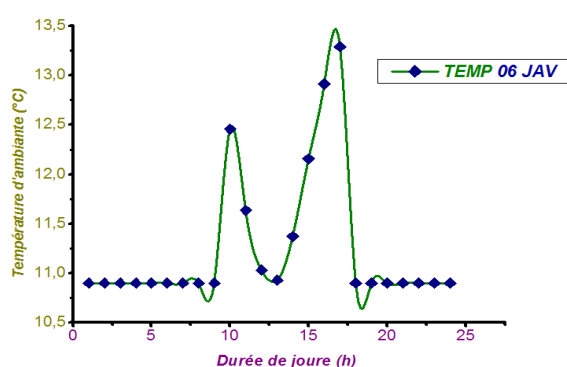


Fig . 43 - Evolution de la température ambiante externe au cours de la journée 06 janvier.

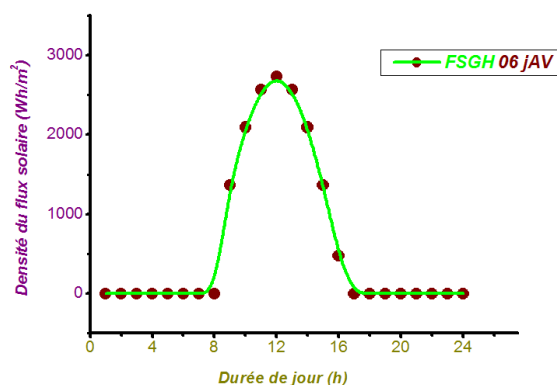
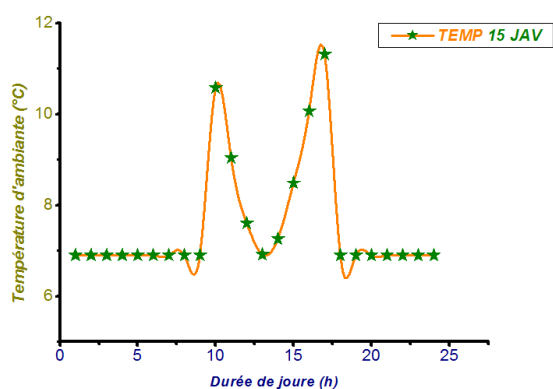


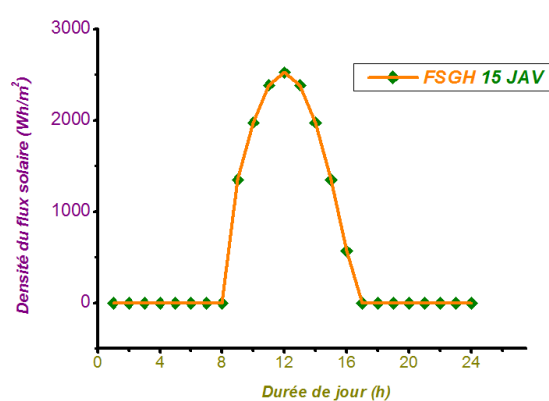
Fig . 44 - Evolution de la densité du flux solaire global horizontal au cours de la journée 06 janvier

### 1.1.3 Analyse de la température et le flux solaire de la journée typique 15 Janvier

Janvier 2017	Flux solaire global Wh/m <sup>2</sup>	Température maximale °C	Température minimal °C	Vitesse de vent moyenne m/S	Durée de joure Heure	Lever du soleil Heure	Couchee de sol Heure
14	1371	11,4	6,0	5,9	9 :33	8 :35	18 :09
<b>15</b>	<b>2527</b>	<b>11,7</b>	<b>6,9</b>	<b>6,4</b>	<b>9 :35</b>	<b>8 :35</b>	<b>18 :11</b>
16	2009	12,5	9,5	7,4	9 :35	8 :35	18:11



**Fig . 45 - Evolution de la température ambiante externe au cours de la journée 15 janvier.**

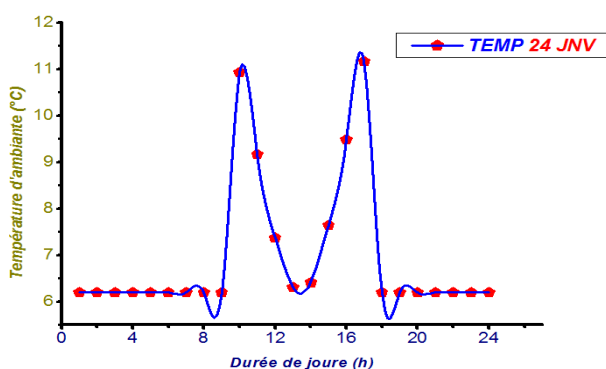


**Fig .46 - Evolution de la densité du flux solaire global horizontal au cours de la journée 15 janvier.**

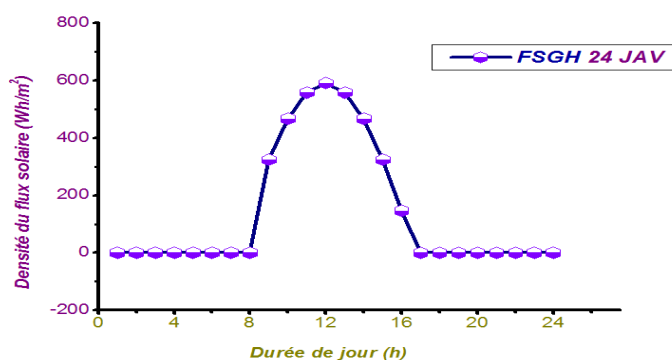
Les figure.43 -46 présente l'évolution de la densité du flux solaire global (FSGH) incident sur le plan horizontal au cours de la journée type du 06 et 15 janvier 2017. On peut voir que la densité du flux solaire commence à augmenter à partir de 8h00 environ jusqu'à atteindre la valeur maximale dans la période diurne de 2870 W/m<sup>2</sup> à midi solaire (13h TLG) et nul dans la période nocturne.

#### 1.1.4 Analyse de la température et le flux solaire de la journée typique 24 Janvier

Janvier 2017	Flux solaire global Wh/m <sup>2</sup>	Température maximale °C	Température minimal °C	Vitesse de vent moyenne m/S	Durée de jour Heure	Lever du soleil Heure	Couchee de sol Heure
23	1333	9,7	3,9	8,1	8 :58	8 :53	17 :52
<b>24</b>	<b>590</b>	<b>12,0</b>	<b>6,2</b>	<b>7,4</b>	<b>9 :00</b>	<b>8 :52</b>	<b>17 :53</b>
25	3541	11,2	7,4	4,3	9 :02	8 :52	17:54



**Fig . 47 - Evolution de la température ambiante externe au cours de la journée 24 janvier.**



**Fig . 48 - Evolution de la densité du flux solaire global horizontal au cours de la journée 24 janvier.**

### 1.1.5 Analyse de la température et le flux solaire de la journée typique 31 Janvier

Janvier 2017	Flux solaire global Wh/m <sup>2</sup>	Température maximal °C	Température minimal °C	Vitesse de vent moyenne m/S	Durée de jour Heur	Lever du soleil Heur	Couchee de sol Heur
30	3821	17,0	9,3	3,2	9 :13	8 :47	18 :01
<b>31</b>	<b>3668</b>	<b>17,7</b>	<b>12,8</b>	<b>2,1</b>	<b>9 :14</b>	<b>8 :47</b>	<b>18 :01</b>

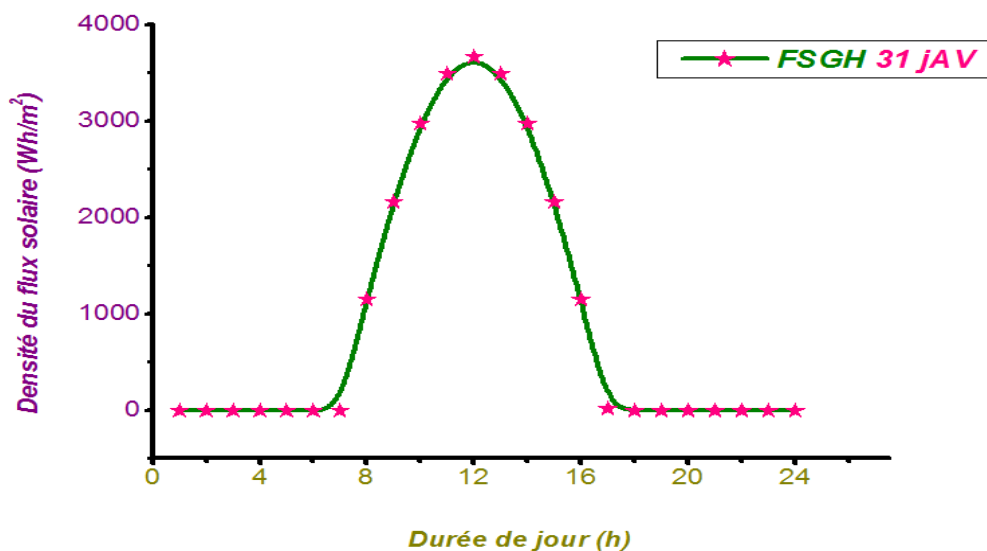


Fig . 49 - Evolution de la densité du flux solaire global horizontal au cours de la journée 31 janvier.

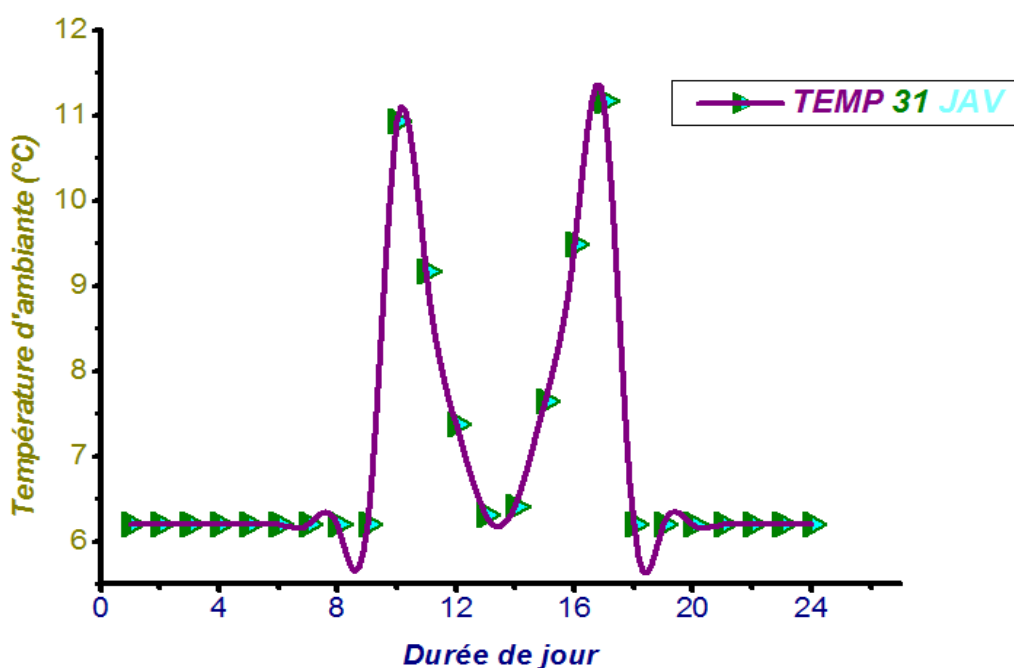


Fig . 50 - Evolution de la température ambiante externe au cours de la journée 31 janvier .

### 1.1.6 Un comparaison entre le flux solaire pour les journées typique ou mois janvier 2017

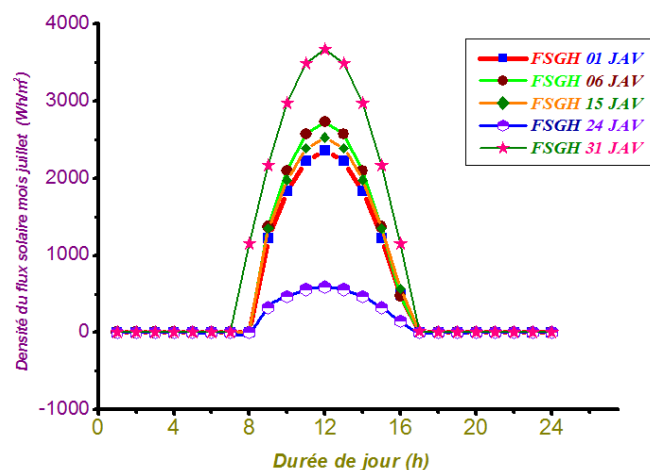


Fig . 51 - Evolution horaire de la densité du flux solaire pour les cinq journées dans mois janvier.

La figure 51, présente l'évolution de la densité du flux solaire global (FSGH) incident sur le plan horizontal au cours de la journée type du mois de janvier 2017. Il est à noter que cette densité de flux atteint sa valeur maximale le jour et le même mois à  $3650 \text{ W} / \text{m}^2$  et la nuit la valeur revient à zéro

### 1.1.7 Un comparaison entre les température ambiante pour les journées typique ou mois janvier 2017

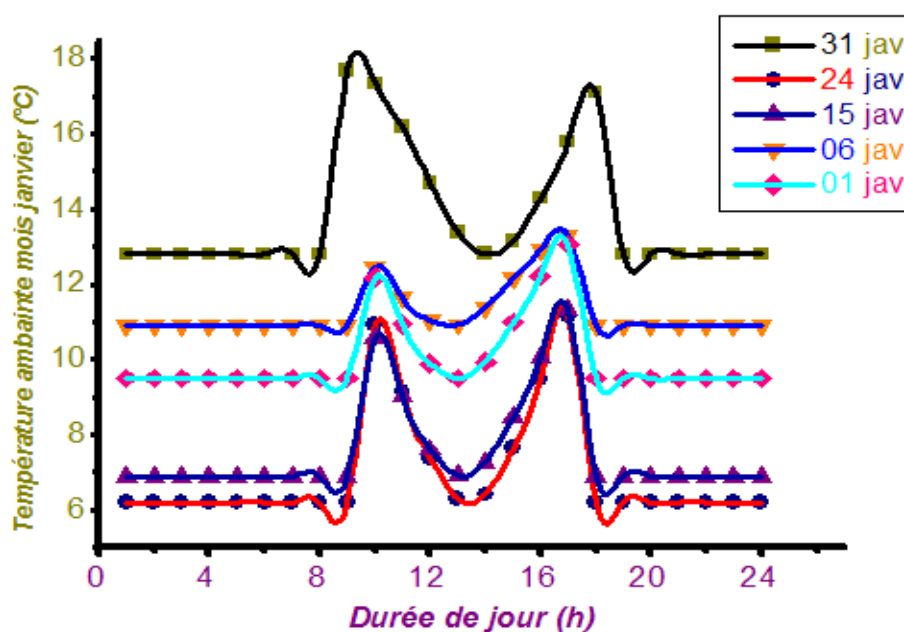


Fig . 52 - Evolution de la température ambiante externe au cours des cinq jours dans le mois janvier



La figure 52, présente l'évolution de la température ambiante au cours de la journée type du mois de janvier 2017. Notez qu'il existe une température de chaleur, où la température maximale atteint 18 ° C le même mois . De là, nous concluons que plus le flux solaire global est important, plus la température est élevée

### 1.1.8 Analyse de la température et le flux solaire de la journée typique 01 Juillet

Mois Juillet JOURS	Flux solaire global Wh/m <sup>2</sup>	Température maximal °C	Température minimal °C	Vitesse de vent moyenne m /S	Durée de journée Heur	Lever du soleil Heur	Couchee de sol Heur
<b>01</b>	<b>4779</b>	<b>18,9</b>	<b>16,5</b>	<b>4,6</b>	<b>14 :37</b>	<b>5:32</b>	<b>20:10</b>
02	6264	21,1	17,8	2,9	14 :37	5 :33	20 :10
03	3789	12,9	18,1	1,9	14:36	5 :33	20 :10

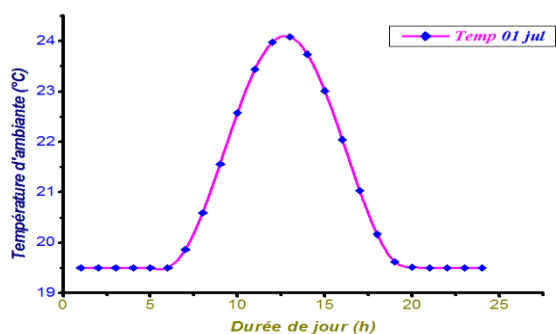


Fig . 53 - Evolution de la température ambiante externe au cours de la journée 01 Juillet .

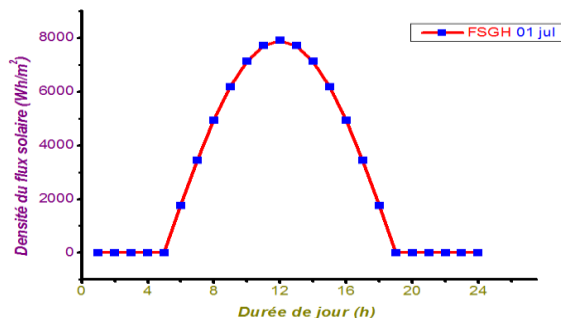


Fig . 54 - flux solaire global horizontal au cours de la journée 01 Juillet.

### 1.1.9 Analyse de la température et le flux solaire de la journée typique 06 Juillet

Mois Juillet JOURS	Flux solaire global Wh/m <sup>2</sup>	Température maximal °C	Température minimal °C	Vitesse de vent moyenne m /S	Durée de journée Heur	Lever du soleil Heur	Couchee de sol Heur
05	7065	20,7	16,8	3,7	14 :35	5 :35	20 :10
<b>06</b>	<b>4113</b>	<b>20,0</b>	<b>17,6</b>	<b>3,6</b>	<b>14:34</b>	<b>5 :35</b>	<b>20:10</b>
07	8281	23,2	17,9	4,0	14 :33	5 :36	20:09

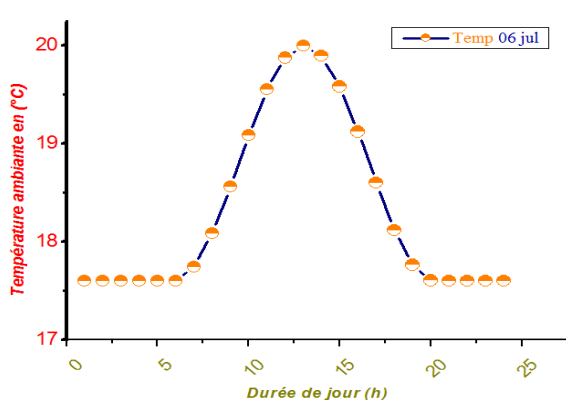


Fig . 55 - Evolution de la température ambiante externe au cours de la journée 06 Juillet.

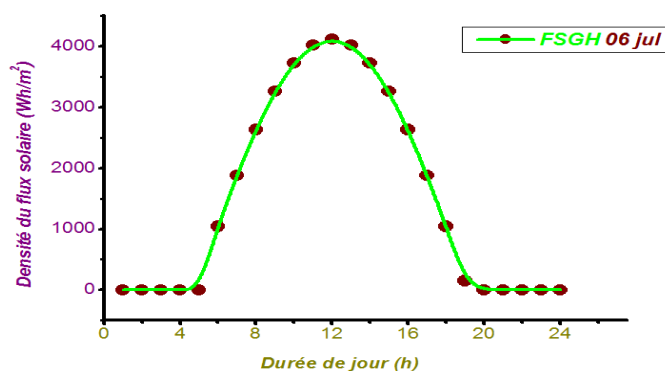


Fig . 56 - Evolution de la température ambiante externe au cours de la journée 06 Juillet .

### 1.1.10 Analyse de la température et le fulx solaire de la journée typique 15 Juillet

Mois	Flux solaire global Wh/m <sup>2</sup>	Température maximale °C	Température minimale °C	Vitesse de vent moyenne m/S	Durée de jour Heur	Lever du soleil Heur	Couchee de sol Heur
Juillet							
JOURS							
14	6777	24,9	20,1	1,9	14 :26	5:40	20:07
<b>15</b>	<b>6660</b>	<b>24,4</b>	<b>19,5</b>	<b>2,7</b>	<b>14:25</b>	<b>5:41</b>	<b>20:06</b>
16	6012	23,3	19,3	3,5	14 :24	5 :41	20:06

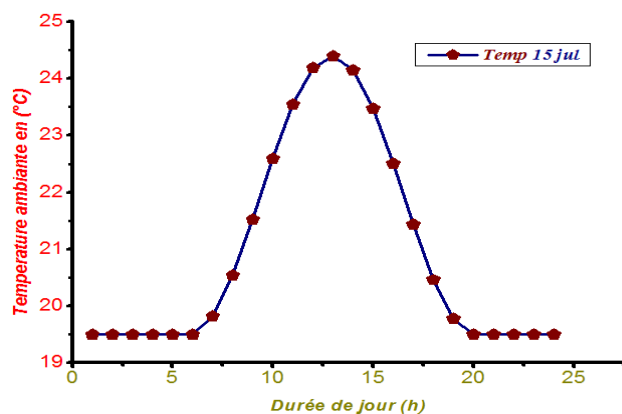


Fig . 57 - Evolution de la température ambiante externe au cours de la journée 15 Juillet .

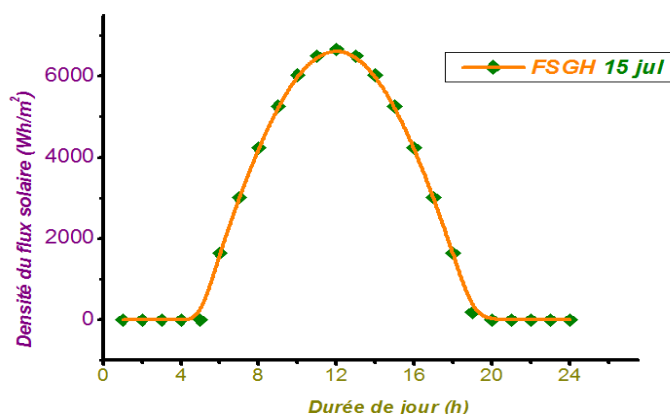


Fig . 58 - Evolution de la densité du flux solaire global horizontal au cours de la journée 15 Juillet.

### 1.1.11 Analyse de la température et le fulx solaire de la journée typique 24 Juillet

Mois	Flux solaire global Wh/m <sup>2</sup>	Température maximale °C	Température minimale °C	Vitesse de vent moyenne m/S	Durée de jour Heur	Lever du soleil Heur	Couchee de sol Heur
Juillet							
JOURS							
23	5037	24,1	20,3	3,1	14 :14	5 :47	20 :01
<b>24</b>	<b>7430</b>	<b>25,2</b>	<b>20,8</b>	<b>2,2</b>	<b>14:13</b>	<b>5 :47</b>	<b>20 :00</b>
25	7392	32,0	20,5	2,0	14 :11	5 :48	20 :00

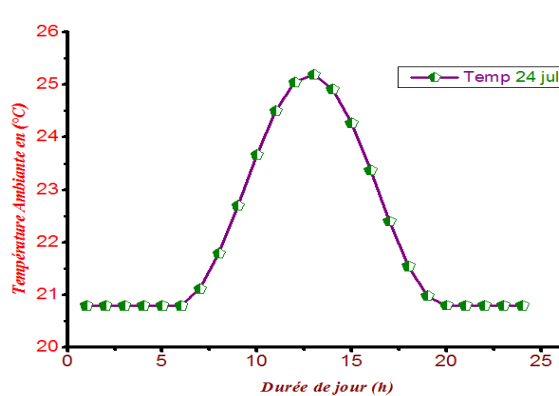


Fig . 59 - Evolution de la température ambiante externe au cours de la journée 24 Juillet .

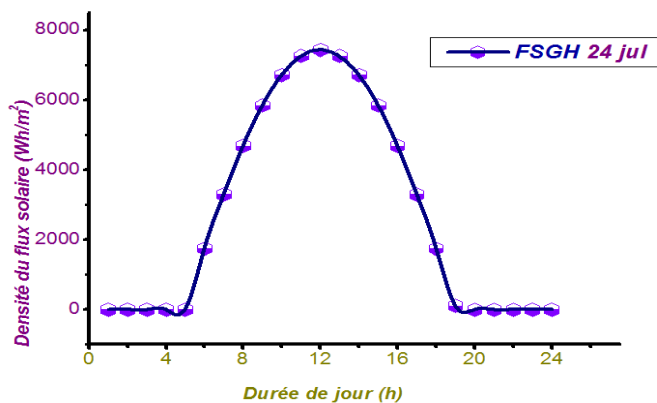


Fig .60 - Evolution de la densité du flux solaire global horizontal au cours de la journée 24 Juillet.

#### 4.1.12 Analyse de la température et le fulx solaire de la journée typique 31 Juillet

Mois Juillet JOURS	Flux solaire global Wh/m <sup>2</sup>	Température maximal °C	Température minimal °C	Vitesse de vent moyenne m /S	Durée de joure Heur	Lever du soleil Heur	Couchee de sol Heur
30	4126	24,3	21,2	4,4	14 :03	5 :52	19 :55
<b>31</b>	<b>7910</b>	<b>24,1</b>	<b>19,5</b>	<b>3,9</b>	<b>14:01</b>	<b>5 :53</b>	<b>19 :55</b>

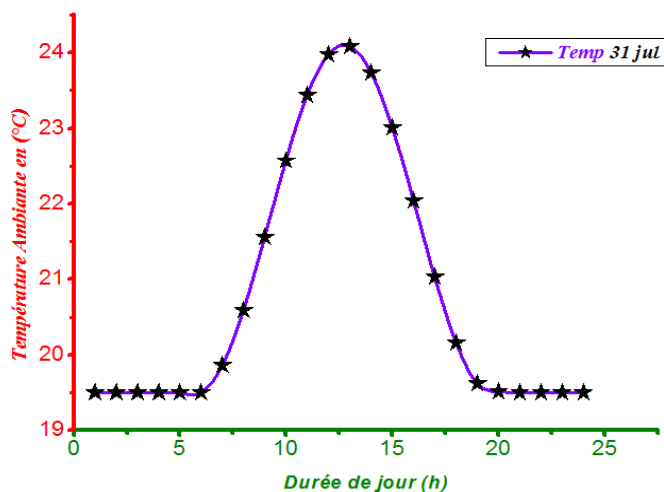


Fig . 61 - Evolution de la température ambiante externe au cours de la journée  
31 Juillet .

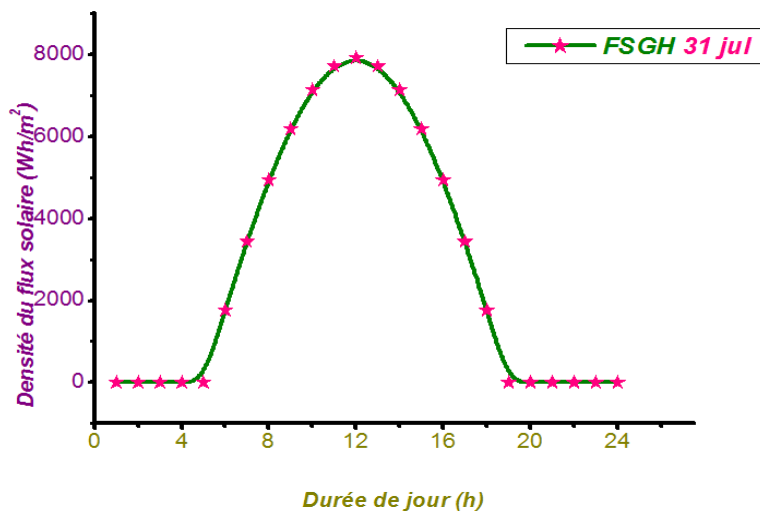


Fig .62 - Evolution de la densité du flux solaire global horizontal au cours de la journée  
31 Juillet.

### 1.1.13 Un comparaison entre le flux solaire pour les journées typique ou mois Juillet 2017

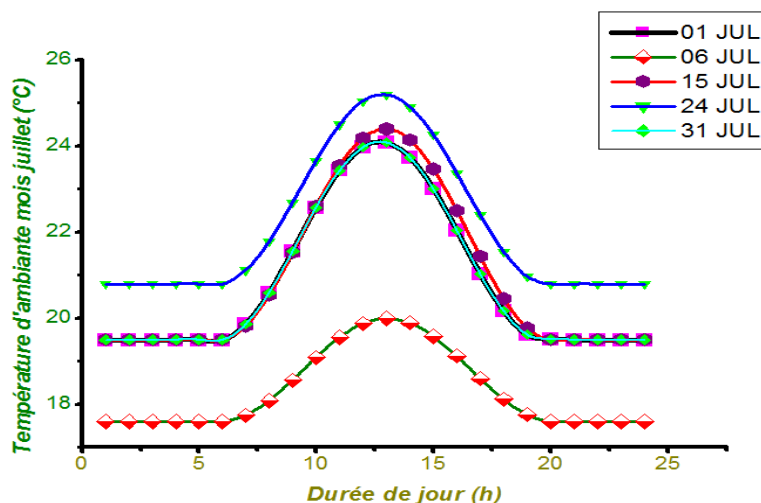


Fig . 63 - Evolution de la température ambiante externe au cours des cinq jours dans le mois Juillet

### 4.1.14 Un comparaison entre la température ambiante pour les journées typique ou mois Juillet 2017

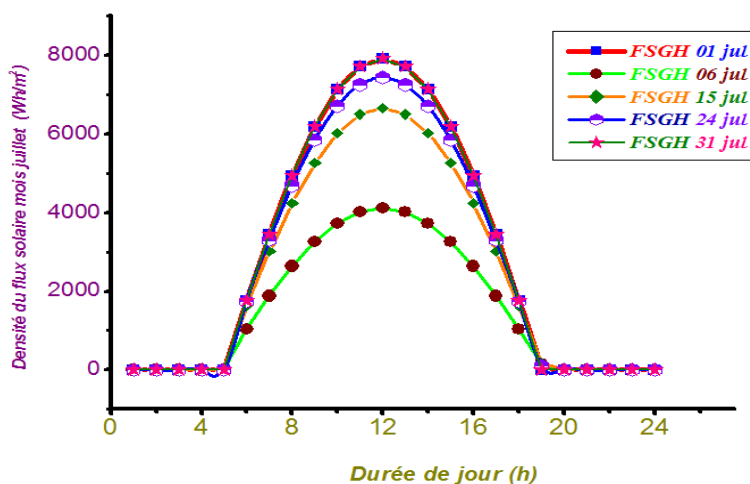


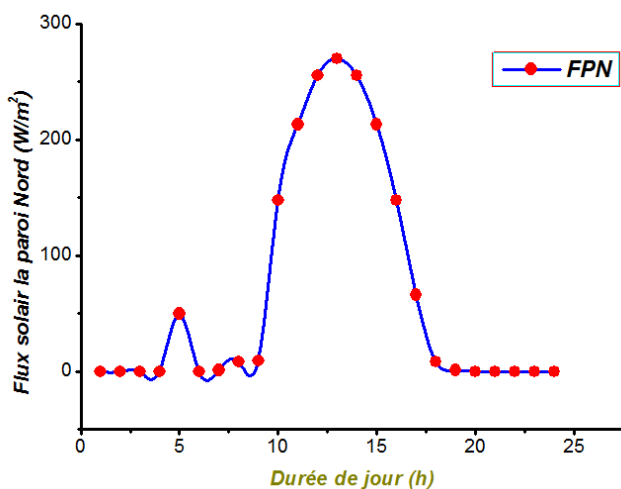
Fig . 64 - Evolution horaire de la densité du flux solaire pour les cinq journées dans mois Juillet

La figure 63 et 64 montre l'évolution des deux composantes essentielles de la densité du flux solaire globale et la température ambiante mesurées pour un plan horizontal en fonction du temps local de la région considérée. présente l'évolution de la densité du flux solaire global (FSGH) de la journée type du mois de juillet 2017. On constate que cette densité du flux atteint sa valeur maximale dans la période diurne de 8000 W/m<sup>2</sup> à midi solaire (13h TLG) et nul dans la période nocturne.

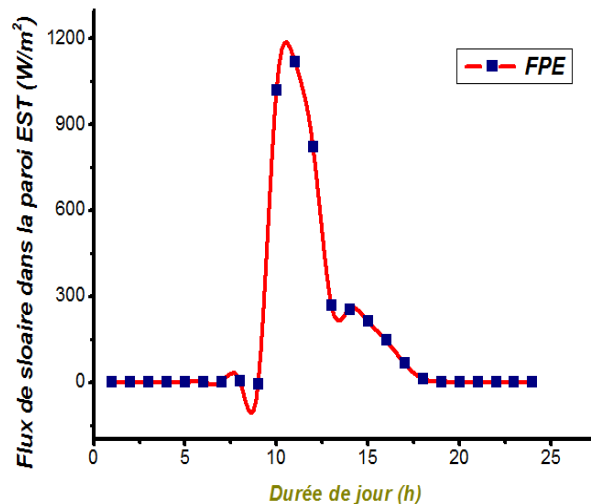
En ce qui concerne la température, il est observé que stable jusqu'à 06h00 chaque fois que le flux solaire a augmenté, la température a augmenté jusqu'à atteindre une valeur maximale de 25 degrés Celsius pour le mois de juillet 2017 à 13h00.

Il y a une différence de température pour chaque jour, où nous avons enregistré la plus basse valeur de 15 degrés Celsius et de 4000 watts / m<sup>2</sup> pour le flux solaire global du mois de juillet 2017.

### 1.1.15 Analyse de la densité du flux solaire global horizontal pour tout les parois pour mois janvier

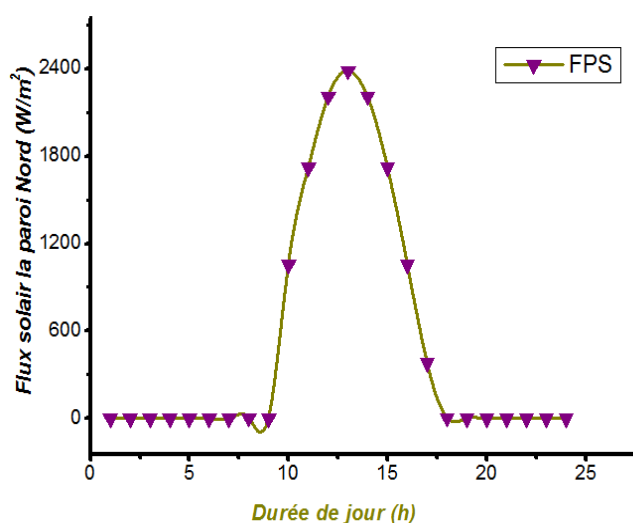


**Fig. 65 - Évolution de la densité du flux solaire incident sur la façade inclinée Nord(90°) en fonction du temps solaire pour**

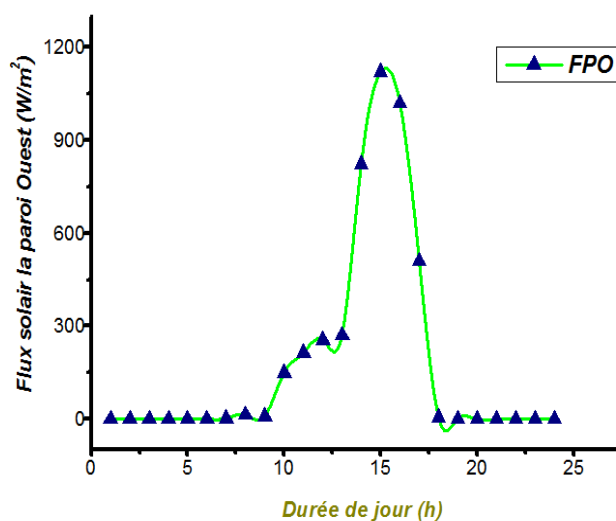


**Fig. 66 - Évolution de la densité du flux solaire incident sur la façade inclinée Est (90°) en fonction du temps solaire**

La figure . 65 présente l'évolution de la densité du flux solaire incident sur la façade Nord de l'enveloppe habitable. On peut constater que pour le mois janvier la saison l'hiver dans la région Bouzaréah, cette densité du flux est nulle au cours de la période nocturne. Alors que pour la période diurne, elle évolue dans le sens croissant, puisqu'elle passe par un maximum vers 13h00 avant midi et 18h00 après midi en temps solaire .



**Fig. 67 - Évolution de la densité du flux solaire incident sur la façade inclinée Sud (90°) en fonction du temps solaire pour le 15 janvier 2017**



**Fig. 68 - Évolution de la densité du flux solaire incident sur la façade inclinée Ouest (90°) en fonction du temps solaire pour le 15 janvier 2017**

La figure .67 présente l'évolution de la densité du flux solaire incident sur la façade Sud de l'enveloppe habitable en fonction du temps solaire pour le mois janvier l'hiver 2017 donnés de la région Bouzaréah. On constate que la densité du flux solaire au milieu de la journée est visiblement plus grande que celle des périodes avant et après-midi. En effet, sa valeur maximale est de 2390,55W/m<sup>2</sup> pour le mois de juillet à midi solaire.

### 1.1.16 Un comparaison entre toutes les parois pour le journée typique ou mois janvier 2017

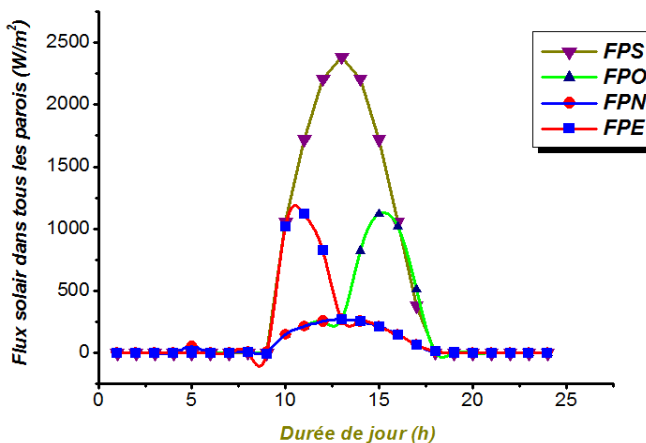


Fig . 69 -Evolution des densités des flux solaires incidents pour les différentes parois de l'enveloppe habitable localisée à Bouzaréah au cours de la journée typique L'hiver

La figure .69 représente une comparaison de l'évolution horaire des densités du flux solaire incident sur la façade horizontale les façades verticales (Nord, Est, Sud, et Ouest) de l'enveloppe de la maison individuelle durant la journée du 15 janvier 2017. D'après cette représentation comparative entre les différentes densités du flux solaire, on peut conclure que l'ensemble des flux solaire pour les façades Est, Ouest, Nord et Sud est acceptable, puisque physiquement, la façade horizontale avec un angle d'inclinaison de 0° reçoit plus de rayonnement solaire par rapport aux façades verticales avec un angle de 90°.

### 1.1.17 Un comparaison entre tout les parois pour le journée typique ou mois juillet 2017

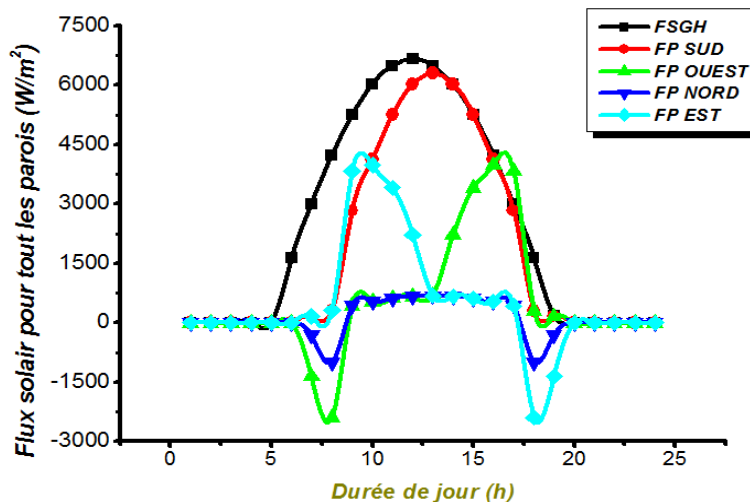


Fig . 70 -Evolution des densités des flux solaires incidents pour les différentes parois de l'enveloppe habitable localisée à Bouzaréah au cours de la journée typique Eté

## 1.2. Analyse de la température interne de la journée typique au mois de janvier 2017.

### 1.2.1 Evolution de la température interne en fonction de facteur de respiration de l'homme

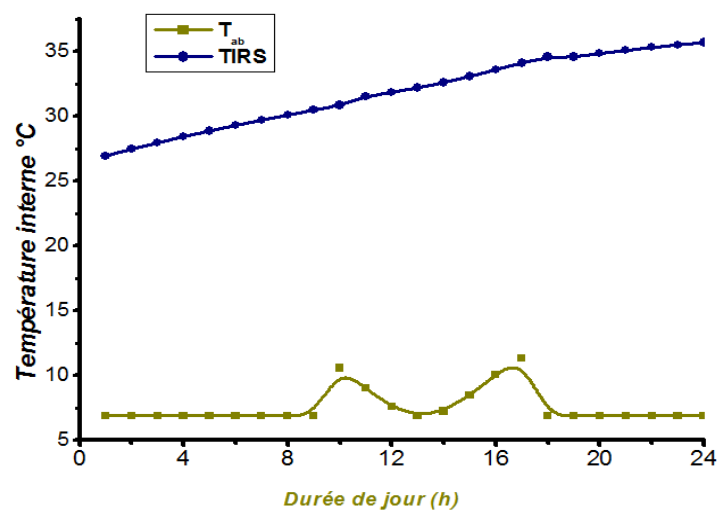


Fig . 71 - Variation de la température interne en fonction de la respiration dans une journée typique au mois de janvier.

Dans la figure 71, présente la variation de la température de l'ambiance interne de l'habitat occupé par un homme dans une journée typique au mois de janvier. Il est bien observé dans cette figure que l'évolution de la température interne de l'habitat est croissante. Cette température à commencer l'évolution à partir d'une valeur minimale de 26°C à min-huit en temps locale jusqu'à une température maximale de 35°C. Si, on compare cette évolution de la température interne du à la respiration de l'occupant dans l'habitat par l'évolution de la température de l'ambiance interne son occupation par individu, on peut dire que la présence d'un individu dans un lieu environnemental à un impact importante sur son température du confort thermique.

### 1.2.2 Evolution de la température interne en fonction de la quantité de la chaleur du au état de repos de l'homme.

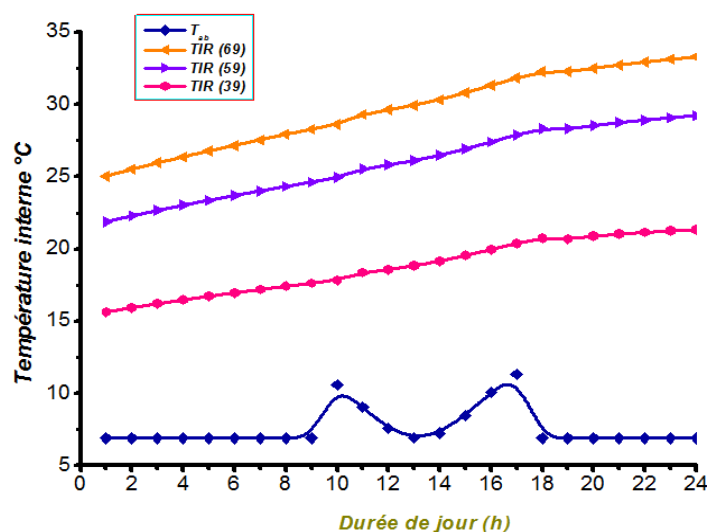
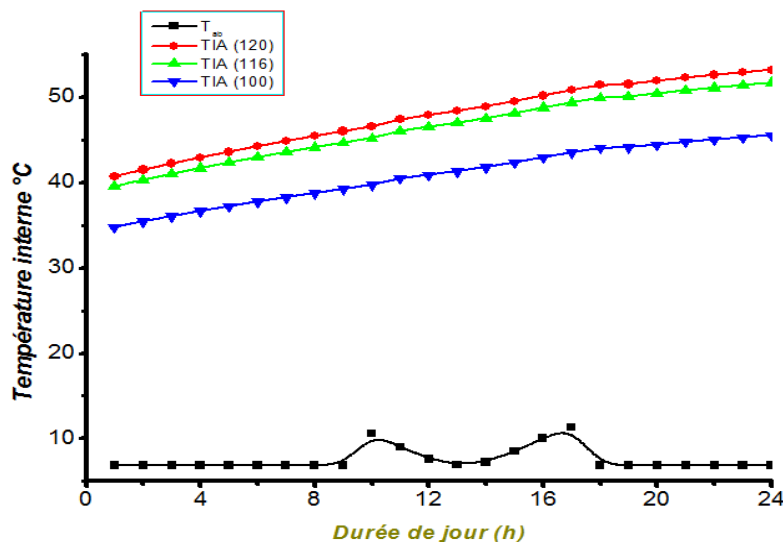


Fig . 72 - Variation de la température interne en fonction de l'état du repos de l'homme dans une journée typique au mois janvier 2017.

La figure 72, présente la variation horaire de la température de l'ambiance interne de l'habitat en fonction de la quantité de la chaleur du au état de repos de l'homme dans son environnement habitable. On constate que, cette variation est croissante d'une manière rapide. Dans cette figure, on remarque bien qu'on augmente la quantité de la chaleur, la progression de la température interne de l'habitat va très vite et vice-versa. Cette variation croissante est bien observée pour une quantité de 39W/m<sup>2</sup>, 59W/m<sup>2</sup> et 69W/m<sup>2</sup>.

### 1.2.3 Evolution de la température interne en fonction de la quantité de la chaleur du au état de l'activité de l'homme.



**Fig.- 73- Variation de la température interne en fonction de la quantité de la chaleur du au état d'activité de l'homme dans une journée typique au mois de janvier 20107.**

Figure 73, Représente une comparaison de l'évolution horaire des températures interne en fonction de la quantité de la chaleur du de l'état de l'activité de l'homme dans son environnement habitable dans une journée typique au mois de janvier de l'année 2017. On conclut que, dans le cas d'une personne en état d'activité forte, sa température environnementale est plus grande par rapport à une personne dans un état d'activité moyenne, ce qui est bien lisible dans cette figure. De cette effet, on constate que la quantité de chaleur du au type d'activité de l'homme dans son environnement à une influence sur la stabilisation de la température interne et puis sur la température du confort thermique interne.



### 1.2.4 Analyse de la température interne de la journée typique au mois de juillet 2017.

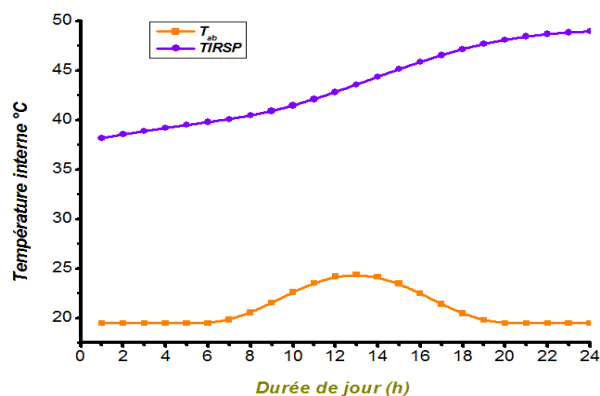


Fig . 74 - Variation de la température interne en fonction de la respiration dans une journée typique au mois de juillet 2017.

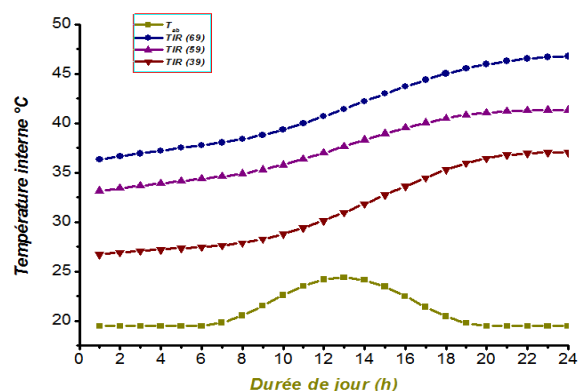


Fig . 75 - Variation de la température interne en fonction de l'état du repos de l'homme dans une journée typique au mois juillet 2017.

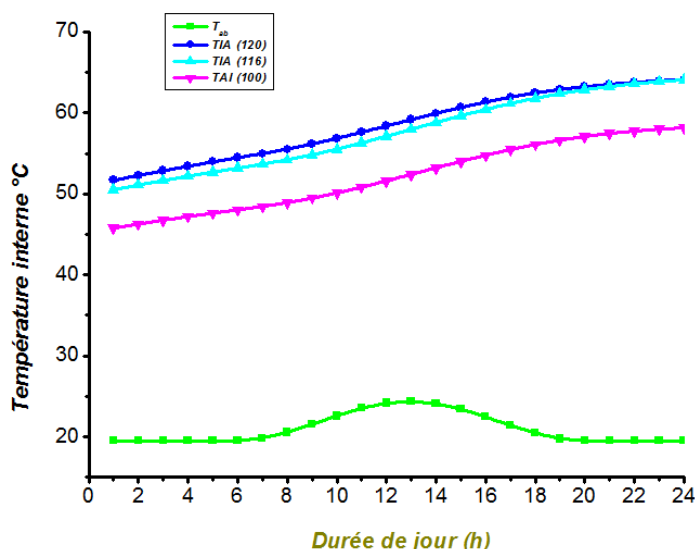


Fig . 76 - Variation de la température interne en fonction de la quantité de la chaleur du au état d'activité de l'homme dans une journée typique au mois de juillet 2017.

Les figures 74, 75 et 76 représentant les mêmes variations de température de l'ambiance interne de l'habitat en fonction de la quantité de la chaleur du à l'état de repos (figure 75), la quantité de chaleur du à l'état de l'activité de l'homme (figure 76) et la quantité de la chaleur du à la respiration de l'homme (figure 74) dans une journée typique au mois de juillet dans l'année 2017. On conclut que ces variations ont le même effet que celle de mois de janvier 20107.

### **1.3 Conclusion**

L'individu, en tant que capteur sensoriel et acteur de son environnement direct, est au centre de toutes les interrogations. Pour ses activités quotidiennes, son confort, ses déplacements..., l'individu utilise de l'énergie sans même s'en rendre compte. Réduire les consommations énergétiques nécessite un changement des comportements des individus mais ces-derniers sont-ils prêts pour le faire ? La question reste posée. Ce n'est que par l'étude de ces comportements individuels que l'on pourra tenter de comprendre les raisons de ses actions et les modéliser lors de simulations de thermique dynamique permettant ainsi d'estimer au plus juste la performance énergétique des bâtiments.

# *Conclusion Générale*

## Conclusion général

La conception en neuf ou en rénovation de bâtiments performants se base aujourd'hui sur des hypothèses idéalisées (bâtiment, météorologie, comportement des occupants). La comparaison entre l'évolution de la température de l'ambiance interne occupé par l'homme pour les trois paramètres thermodynamiques sélectionnés dans cette étude avec le code FORTRAN77 de montre, d'une part, de réels écarts de consommations énergétiques et, d'autre part, des dégradations du confort thermique notamment en été. Si plusieurs hypothèses concernant les matériaux ou leur mise en œuvre peuvent être avancées, nous avons montré que l'occupant (l'homme) y joue un rôle majeur.

L'étude bibliographique a mis en avant que le changement de comportements est un processus long qui nécessite une politique d'incitation aidée des compétences des sociologues. L'objectif de cette mémoire est donc d'étudier les comportements thermodynamique des occupants au sien de son enveloppe habitable afin de mettre en évidence une méthodologie permettant aux concepteurs d'avoir des pistes de réflexions pour proposer des solutions architecturales palliant les actions qui dégradent le confort thermique des occupants tout en limitant les consommations énergétiques.

Pour étudier le confort et les comportements des occupants nous avons investigué numériquement une résidence au nord de l'Algérie à Bouzaréah: Dans un premier temps, nous avons focalisé notre étude sur le gisement solaire de cette région en se basant sur des données climatique réelles obtenus à l'aide de centre de développent des énergies renouvelables CDER.

L'usage du comportement thermodynamique de l'individu a été examiné grâce aux trois paramètres qui ont été sélectionnées dans la descriptive du problématique dans les deux saisons de l'année 2017. Toutefois, nous n'identifions pas de relation directe entre un inconfort momentané et une action mais, à plus long terme, les comportements ont un impact positif ou négatif sur les niveaux de confort/inconfort.

### ➤ *Limites de l'étude et Perspectives*

Au même titre que l'étude menée regroupe de nombreuses thématiques, les limites et les perspectives sont donc aussi variés que les domaines étudiés. Pour une meilleure prise en compte de ces-derniers, il me semble important de souligner que la constitution d'une équipe pluridisciplinaire est essentielle à la poursuite de ces travaux. Toutefois, cinq thématiques principales peuvent être développées pour la suite de ce travail.

### ➤ *Les modèles de confort*

L'analyse de l'inconfort et des actions semble être un élément important à améliorer. Or, à l'heure actuelle, les modèles de définition du confort sont la plupart du temps basés sur des études en chambre climatique. Le modèle adaptatif, basé sur des mesures en situation réelle, semble être de plus en plus reconnu pour définir les situations de confort/inconfort. Cependant, les modèles de

la littérature diffèrent en fonction des lieux ou des bâtiments étudiés. Bien que plus complexe, une analyse du confort ressenti semble alors essentielle. Qu'elle soit basée sur des questionnaires ou des entretiens semi-directifs, elle permettrait de définir les périodes d'inconfort en fonction des locataires et une meilleure relation entre inconfort et action pourrait être trouvée.

➤ *Une instrumentation plus complète*

Les études par instrumentation du comportement thermodynamique de l'homme et du confort se basent soit sur l'étude d'une personne ou d'une famille dans d'une maison témoin équipée de multiples capteurs, soit sur l'étude du comportement des occupants dans des bureaux. Dans la première hypothèse, l'occupant, sachant que l'étude porte sur ses réactions face à son confort/inconfort, peut avoir des réactions différentes de celles qu'il aurait chez lui. Dans la seconde hypothèse, les personnes étudiées étant plus statiques, elles sont plus sensibles à leur sensation thermique. Les actions peuvent donc être reliées à un inconfort. De plus, ces lieux permettent la mise en place de multiples capteurs permettant des analyses croisées avec différents paramètres. L'instrumentation de logements en site occupé engendre de nombreuses contraintes et notamment une limitation du nombre de capteurs à positionner.

## Biographique

- [1] Oudrane , A ., 05 Mars 2018. Contribution à la Modélisation et au Développement des Systèmes de Chauffage Solaire à Usage Individuel , Thèse pour l'Obtention du Titre de Doctorat Es-Science en Génie Mécanique oran , p.p 8 ,9
- [2] [https://www.researchgate.net/profile/Abdelhamid\\_Mraoui/publication](https://www.researchgate.net/profile/Abdelhamid_Mraoui/publication)
- [3] <https://www.ConfortthermiquepdfAnalyse-des pertes-thermiques.pdf> P.P20
- [4] Olivier, D, 2002 . Mise au point d'un système de spectroscopie pour mesurer des sections efficaces neutroniques applicables à un possible développement du nucléaire comme source; Université de Pris , pp.9-12
- [5] Faradji , K. Djamila ,2011 , Contribution à la valorisation énergétique de la biomasse ,Tlemcen ;
- [6] Redjem . R , 2009 , Étude d'une chaîne de conversion d'énergie éolienne , Constantine
- [7] Belakehal , S. 2010 . Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables , université de Constantine ;
- [8] <https://www.landes.fr/files/cg40/environnement/Guide-ST.pdf> . Date de la dernière consultation du site : 17/04/2019
- [9] EMMANUEL .A , 2006, etude du comportement thermique de modules photovoltaïques en vue de la prediction de leur production électrique sur site, Marseille , FRANCE
- [10] <https://www.chapitreII.pdf>. chapitre02.
- [11] EL IBRAHYMY, A Said, S. . 2014 . Etude du rayonnement solaire et des conditions météorologiques de Casablanca et leur intégration dans TRNSYS, et a été reformulé et réinterprété.
- [12] <https://www.google.com/url?sacta&source=images> . Date de la dernière consultation du site : 17/04/2019
- [13] [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/fr.svg/550px Seasons\\_fr.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/fr.svg/550px_Seasons_fr.svg.png)
- [14] <https://docplayer.fr/Chapitre-ii-energie-solaire-1-reperage-et-mesure-de-lensoleillement-2-rayonnement-solaire-3-applications-charge-de-cours-m.html> . Date de la dernière consultation du site : 17/04/2019
- [15] ALLAL El Moubarek. B , Mohammed .A., 2008. Dimensionnement d'un système photovoltaïque pour l'alimentation d'une ferme Étude de l'onduleur triphasé lié à cette application, mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'état, université des sciences et de la technologie d'Oran, 2008.
- [16] <https://www.google.com/searchbiwampbihamp> Date de la dernière consultation du site : 30/04/2019
- [17] YAICHE.R , 2007. Logiciel de calcul des paramètres astronomiques à l'usage des installations solaires Revue des Energies Renouvelables ICRES D , Tlemcen (2007) , P345 , 344 ;
- [18] FELLAH B .2012 . Système hybride photovoltaïque-éolien, de production d'électricité. Application aux sites de Tlemcen et de Bouzaréah, p.p 11 ,
- [19] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Coordonn\\_graphiques](https://fr.wikipedia.org/wiki/Coordonn_graphiques) .Date de la dernière consultation du site : 07/05/2019
- [20] Benoit B , Pierre . B . Septembre 2010 « Comment calculer la déclinaison du soleil », p.p 1-15 [https://www.google.com.wikimediaCoordonnees\\_equatoriales..wikipedia](https://www.google.com.wikimediaCoordonnees_equatoriales..wikipedia) .Date de la dernière consultation du site : 24/05/2019.
- [21] NICOLAs .M et EDGARD G , 2008 . énergétique du bâtiment section de génie civil, 4ème/5ème année , p.p 6 – 4
- [22] <https://www.google.com/url?sa=;source=images> .Date de la dernière consultation du site : 09/05/2019.
- [23] JANNOT .Y., 2003. Thermique solaire , Cours de Transferts thermiques,.
- [24] BROMAN. L , DUFFIE , J.A and LINDBERGE.E, 1991. a concentrated course in solar thermal process engineering , Inc.. ISES Solar World Congress ;
- [25] MAAMAR.H , 2011 . Etude et Effet de l'Orientation de deux Pièces d'un Habitat en Pierre Situé à Ghardaïa, thèse demagister de l'université Abou-Bakr Belkaïd –Tlemcen ; [https://cral.univlyoncdroms/cdrom2003/cdtemps2003/mesure\\_dutemps1.pdf](https://cral.univlyoncdroms/cdrom2003/cdtemps2003/mesure_dutemps1.pdf) p,p1 .Date de la dernière consultation du site : 21/05/2019.
- [26] NAIM. H , 2015 .Etude de gestion d'un mini-central solaire et mise au point d'un dispositif automatique de mesures controles et régulation de l'énergie électrique, Oran med Boudiaf
- [27] .Duffie. J, A et W.A.Beckman, 1991. solar energie thermal process , ed.John Wiley ;
- [28] HONG .P . Jun 2013 , Analyse et interprétation de la variation régulière du champ magnétique terrestre au Vietnam et modélisation de l'ionosphère , Paris , Français ;
- [29] <https://www.google.com/source=images>
- [30] <https://www.google.com/source=images>
- [31] <https://www.google.com/source=images>

- [32] CAPDEROU. M , 1985 . Atlas solaire de l'Algérie , tome I: Aspect théorique, O.P.U, Alger,.  
<https://docplayer.fr/61400572-Le-mouvement-terre-soleil.html> .Date de la dernière consultation du site :  
 [33] 25/05/2019.
- [34] <http://dSPACE.univ-tlemcen.dz/bitstream/Analyse-des-perdes-thermiques.pdf>
- [35] ROMAIN. D , 2014 , Prévission du rayonnement solaire global par télédétection pour la gestion de la production d'énergie photovoltaïque , Université de Grenoble,. Français ;
- [36] ZEKALS , 2008. Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques, Istanbul
- [37] MEKEMEICHE .A , 2017. Modélisation à deux dimensions des propriétés physiques de cellules solaires au silicium à base de substrat de type n. Étude de quelques cas particuliers de cellules innovantes,L'université Abdel Hamid Ibn Badis de Mostaganem Faculté des Sciences Exactes et Informatique Département de Physique ;
- [38] DUFFLE .A and Beckman.W.A , 2006 . Solar Engineering of Thermal Processes ;
- [39] BOUCHOUICHA. K , 2017 . MODELISATION MULTISPECTRALE DES IMAGES SATELLITAIRE - Application : Quantification du bilan d'énergie Sol-Atmosphère , université Or  
 [40] [https://www.cder.dz/download/Art14-4\\_7.pdf](https://www.cder.dz/download/Art14-4_7.pdf) .Date de la dernière consultation du site : 25/05/2019
- [41] MOUHOUS . S, 2012. Etude statistique du rayonnement solaire sur un plan incliné, centre de développement des énergies renouvelables.  
 [42] <https://fr.climate-data.org/afrique/algerie/alger/bouzareah>  
 [43] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Bouzareah> .Date de la dernière consultation du site : 26/05/2019.
- [44] [https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos\\_sun.php?lang=fr#annual](https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=fr#annual)
- [45] <https://www.cder.dz/spip.php?article2451> .Date de la dernière consultation du site : 27/05/2019.  
<https://conseils-thermiques.org/contenu/confort-thermique.php> .Date de la dernière consultation du site :  
 [46] 27/05/2019.
- [47] BENHISSEN .N , SEPTEMBRE 1998 . modélisation des couplages électrothermiques dans les composants électroniques , université du Québec
- [48] PRAKASH, D. and Ravikumar, Année 2015 . Analysis of thermal comfort and indoor air flow characteristics for a residential building room under generalized window opening position at the adjacent walls , International Journal of Sustainable Built Environment. The Gulf Organisation for Research and Development ,
- [49] LEHTIHET .Med , Année 2007 . Modification des microclimats urbains par la couverture végétale avec référence à la ville de Jijel » mémoire de magister . université de Jijel ;
- [50] BARAKA. A , Corinne .P, Année 2005 , Règles Thermiques .Master prévention des risques et nuisances technologiques faculté de pharmacie , Marseille ;
- [51] BOIVIN . H.,2007 , la ventilation naturelle développement d'un outil d'évaluation du potentiel de la climatisation passive et d'aide à la conception architecturale, de l'Université Laval, Québec ;
- [52] ISLAM .Z ..., avril 2018. L'effet de la végétation sur le confort thermique dans l'habitat collectif, mémoire de master, université , Biskra ;
- [53] MOUJALLED. B , N° d'ordre 2007, Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés, LYON
- [54] THELLIER.T , MONCHOUX . F, SERIN .G , 2003. les outil d'évaluation du confort thermique TOULOUSE Cedex 04 – France
- [55] Youcef .A ,Othman,A ., année 2011 . l'effet rapport d'aspect sur le taux de transfert de chaleur par convection naturelle dans une enceinte , université kasedi merbeh ouargla ;  
 HICHAM .S , 2009. étude numérique du transfert de chaleur nanofluide dans les enceintes , université de batna
- [56] BADACHE. S , 2016. Contribution à la modélisation thermique d'une machine à reluctance variable à double saillance (MRV6/4) par éléments finis en 2D et 3D , université des sciences et de la technologie d'oran mohamed boudiaf ;
- [58] BAILEK . N, 2018 . Étude et Modélisation du Flux Solaire globale sur surface inclinée dans la région de Touat , Université sidi bel abbes ;
- [59] DEVAL. J.-C ,1984 . Le confort thermique en climat tempéré. Revue de Physique Appliquée, , pp.513-531.
- [60] Jacques.C , 18 juin 2010 . Etude de la diffusion et du métabolisme cutané de xénobiotiques sur la peau d'oreille de porc maintenue en survie par comparaison avec le foie , P.P 26
- [61] IBRAHIMA .M , ABDOURAHIMOU. N, 2005 . conception d'un nouveau système de climatisation pour l'amélioration du confort thermique dans l'habitat,
- [62] VIGNOLES.A . 22 octobre 2014. étude des facteurs influençant la dépense énergétique de repos mesurée chez le sujet âgé hospitalisé , p 7 – 8 ;

- [63] Guide technique de la diffusion d'air, 2006
- [64] GIVONI .B ,1978 . L'homme, l'architecture et le climat. Editions du Moniteur; Paris, p 84 ;  
CRAIG .M, RICHARD . D . Vol. 24: 267–284, 2003 . Weather, clothing and thermal adaptation to indoor
- [65] climate ;
- [66] MEISS.M , Le Confort Thermique ; aspects physiques, physiologiques, Psychologiques et sensoriels. ;  
<https://www.incub.net/les-six-composantes-du-confort-thermique/> .Date de la dernière consultation du site :
- [67] 29/05/2019.
- [68] <https://energieplus-lesite.be/evaluer/le-confort-thermique/evaluer-le-confort-thermique-d1/>
- [69] KITTAS.C ,Chiapal.J.P ,Aries.F , 1987 . modele d'estimation de la temperature de paroi d'une serre  
<https://energieplus-lesite.be/theories/le-confort/le-confort-thermique-d1/> .Date de la dernière consultation du
- [70] site : 29/05/2019.  
LIEBARD. A.et De Herde, A, 2005 . Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques ». Ed. Le Moniteur.
- [71] Paris p. 30a
- [72] MAZARI Mohammed ,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  
Tizi Ouzou
- [73] <https://www.beswic.be/fr/themes/agents-physiques//indices-de-confort>
- [74] FARIDA. S , 2012 . rehabilitation thermique d'un local dans une zone aride -cas de ghardaia -
- [75] <https://fracademic.com/dic.nsf/frwiki/2141563> .Date de la dernière consultation du site : 02/06/2019.
- [76] FEDERICO. M , Butera . 1998 . Principles of thermal comfort  
ANNE-JULIE .V , 2013 . , La dépense énergétique liée à l'activité physique et à la composition corporelle  
chez les jeunes.
- [77] chez les jeunes.
- [78] PIERRE. H , BERNARD. L , FRANCO. R , WILLI. W , 2003 , habitat, confort et energie
- [79] EAN-LOUIS . I , Olivier Kaçala. , Laboratoire ABC, ENSA-Marseille
- [80] M'SELLEM . H et ALKAMA .D , 2009 ., 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 ;
- [81] <http://www.acouple.fr/materiaux.html> Absorption  $\alpha$
- [82] [http://www.thethermo-grapiclibrary.org/index.php?title=TableauA9missivit\\_en\\_thermographie](http://www.thethermo-grapiclibrary.org/index.php?title=TableauA9missivit_en_thermographie) Emesstivite
- [83] <http://www.etasc.fr/index.php?page/cours/conductiviteThermique/physiqueGenerale:electrothermie>.  
.Date de la dernière consultation du site : 07/07/2019. Conductivité et masse volumique
- [84] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Capacit%C3%A9\\_thermique\\_massique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Capacit%C3%A9_thermique_massique) .Capacité thermique  
[https://www.lenergiesoutcompris.fr/actualites-et-informations/renovation-energetique/qu-est-ce-qu-un-bilan-](https://www.lenergiesoutcompris.fr/actualites-et-informations/renovation-energetique/qu-est-ce-qu-un-bilan-thermique)  
thermique.
- [85] thermique.
- [86] GACEM .Med , 2011 . Comparaison Entre l'Isolation Thermique Extérieure et Intérieure d'une pièce  
D'un Habitat Situé Dans Le Site De Ghardaïa
- [87] Oudrane . A, AOUR . , B , ZEGHMATI. B, CHESNEAU. X , HAMOUDA . M .,2017 ., Analysis  
numerical of one-dimensional heat transfer for desert house ;  
ARBI LADMI. O , 2010 .,Etude numérique du transfert thermique dans les systèmes à mur capteur-
- [88] accumulateur



## Résumé

La performance énergétique des bâtiments peut être estimée grâce à la réalisation de simulations de thermique dynamique qui prennent en compte différentes hypothèses conventionnelles telles que celles définies dans la réglementation thermique 2012 (météo, occupation, consignes de température, usages de la fenêtre et du volet par les occupants, etc.). Les retours d'expériences dans les bâtiments énergétiquement performants mettent en évidence des écarts importants de consommations énergétiques entre les prévisions et les mesures in situ ainsi que des surchauffes estivales. D'après la communauté scientifique, même s'il existe de multiples facteurs pouvant expliquer ces écarts, l'homme (l'occupant) semble être l'élément le plus impactant. En effet, son action sur l'ambiance interne et la gestion des apports solaires. L'usage mais aussi l'architecture de l'enveloppe habitable donc les consommations énergétiques et le confort. L'objectif de notre étude est l'analyse de l'évolution thermique d'une chambre individuelle occupée par un homme afin d'établir un modèle comportemental de l'occupant réel permettant de quantifier l'impact des modifications architecturales sur le confort thermique et les performances énergétiques de cette chambre. Une analyse sur une année 2017 des conditions climatiques réelles de la région de Bouzaréah, du comportement individuel de l'occupant et des consommations d'énergie sont faites. Ces analyses, ont permis de définir un modèle comportemental de l'homme dans sa chambre individuelle qui peuvent être regroupées selon trois profils d'occupant (l'occupant « repos », l'occupant « actif » et l'occupant « en respiration»). La modélisation numérique a été faite aide d'un programme en code FORTRAN77. L'analyse thermique, en hiver et en été de trois paramètres précipités avant montre, que ces paramètres ont une influence importante sur l'évolution de la température ambiante interne de la chambre individuelle occupée par l'homme. En outre, nous avons constaté que le comportement thermodynamique de l'homme a ainsi un rôle essentiel dans la stabilisation du confort thermique habitable.

**Mots clés :** Confort thermique, comportement thermodynamique de l'homme, simulation numérique, l'enveloppe habitable, consommations énergétiques.

### Abstract

The energy performance of buildings can be estimated by performing dynamic thermal simulations that take into account various conventional assumptions such as those defined in the 2012 thermal regulations (weather, occupancy, temperature setpoints, windows and window shutters use by occupants, etc.) Feedback from energy-efficient buildings shows significant difference in energy consumption between the prevision and measurements in situ as well as summer overheating. According to the scientific community, even if there are multiple factors that can explain these differences, the man (occupant) seems to be the most impacting element. His actions inside the habitat and the energy produced by his body in different phases ( rest, work ,respiration ... etc ) , the use and the architecture of the habitat So the comfort is based on the energetique consumption . The objective of our study is the analysis of the thermal evolution of a single room occupied by a man in order to establish a behavioral model of the real occupant allowing to quantify the impact of the architectural modifications on the thermal comfort and the energy performance of this room. An analysis in 2017 with real climate conditions in the Bouzaréah region with the individual behavior of the occupant and energy consumption are made. These analyzes have defined a behavioral model of the man in his room that can be listed according to three occupant profiles ( the resting phase, the active phase, and the respiration phase of the occupant . ). Numerical modeling was done using a program called FORTRAN77. The thermal analysis, in winter and in summer, of three precipitated parameters before, shows that these parameters have an important influence on the evolution of the internal room temperature of the individual . In addition, we have found that the thermodynamic behavior of man has an essential role in the stabilization of habitable thermal comfort.

**Key words:** Thermal comfort, thermodynamic behavior of humans, numerical simulation, habitable envelope, energy consumption

## المخلص

يمكن تقدير أداء الطاقة للمباني من خلال إجراء عمليات محاكاة حرارية ديناميكية تأخذ في الاعتبار الافتراضات التقليدية المختلفة مثل تلك المحددة في اللوائح الحرارية لعام 2012 (الطقس، الإشغال، نقاط ضبط درجة الحرارة، استخدام النافذة والمصراع بواسطة شاغلي، الخ). تظهر التغذية المرتدة من المباني الموفرة للطاقة اختلافات كبيرة في استهلاك الطاقة بين التوقعات والقياسات في الموقع وكذلك ارتفاع درجة الحرارة في الصيف. وفقاً للأوساط العلمية، حتى لو كان هناك العديد من العوامل التي يمكن أن تفسر هذه الاختلافات، فإن الرجل (المحتل) يبدو أنه العنصر الأكثر تأثيراً. في الواقع، عملها على البيئة الداخلية وإدارة المدخلات الشمسية. استخدام ولكن أيضاً بنية المغلف صالح للسكن وبالتالي استهلاك الطاقة والراحة. الهدف من دراستنا هو تحليل التطور الحراري للغرفة الفردية التي يشغلها رجل من أجل إنشاء نموذج سلوكي للشاغل الحقيقي مما يسمح بتحديد تأثير التعديلات المعمارية على الراحة الحرارية وأداء الطاقة في هذه الغرفة. يتم إجراء تحليل سنوي للظروف المناخية الفعلية في منطقة بوزريعة والسلوك الفردي للشاغل واستهلاك الطاقة. لقد حددت هذه التحليلات نموذجاً سلوكياً للرجل في غرفته الفردية التي يمكن تجميعها وفقاً لثلاثة من صفات شاغليها (شاغل "الراحة"، والشاغل "النشط" وراكب "التنفس"). تم إجراء النمذجة العددية باستخدام برنامج في كود FORTRAN77. التحليل الحراري، في فصل الشتاء والصيف من ثلاثة معلمات عجلت قبل أن يظهر، أن هذه المعايير لها تأثير مهم على تطور درجة الحرارة المحيطة الداخلية للغرفة الفردية التي يشغلها الرجل. بالإضافة إلى ذلك، وجدنا أن السلوك الديناميكي الحراري للإنسان له دور أساسي في تثبيت الراحة الحرارية الصالحة للسكن.

**الكلمات المفتاحية :** الراحة الحرارية، والسلوك الديناميكي الحراري للإنسان، والمحاكاة العددية، والمغلف القابل للسكن، استهلاك الطاقة.