

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	i
TABLE DES MATIÈRES	iii
LISTE DES FIGURES.....	vi
LISTE DES TABLEAUX	ix
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 : CLIMAT – CONFORT THERMIQUE.....	4
A. LE CLIMAT.....	4
1.1 : Introduction.....	4
1.2 : Définition	4
1.3 : Facteurs déterminants du climat	4
1.4 : Éléments climatiques	5
1.5 : Classification du climat.....	9
B. LE CONFORT THERMIQUE	11
1.1 : Introduction :.....	11
1.2 : Notion de confort thermique :.....	11
1.3 : Bilan thermique :	12
1.4 : Facteurs de confort thermique :	16
1.5 : Évaluations du confort thermique : Stratégies d'évaluation du confort thermique :.....	20
1.6 : Habitat et confort thermique:.....	29
CHAPITRE 2 : ANALYSE BIOCLIMATIQUE D'ANTANANARIVO.....	34
2.1 : Présentation de Madagascar.....	34
2.1.1 : Localisation de Madagascar :	34
2.1.2 : Climats de Madagascar :	34
2.2 : climat d'Antananarivo :	35
2.2.1 : Présentation :	35
2.2.2 : Éléments climatiques d'Antananarivo :	36

2.2.3 : Détermination du climat d’Antananarivo :	40
2.3 : Analyse bioclimatique d’Antananarivo :	41
2.3.1 : Résumé de l’analyse quantitative des données climatiques :	41
2.3.2 : Analyse bioclimatique selon le diagramme de Givoni :	41
2.3.3 : Solutions passives proposées :	43
2.3.4 : Conclusion :	43
CHAPITRE 3 : SIMULATION DE L’HABITATION	44
3.1 Introduction :	44
3.2 Méthode - Principe :	44
3.3 Outil utilisé :	44
3.3.1. DesignBuilder	46
3.3.2. EnergyPlus	46
3.4 Modélisation du bâtiment et simulation :	46
a) Localisation du site	47
b) Plan du bâtiment	47
c) Activités	48
d) Construction	50
e) Ouvertures	51
3.5 Résultats et discussions :	52
3.5.1 : Résultats :	53
3.5.2 : Interprétations:	60
3.5.3 : Améliorations proposées :	61
3.5.4 : Résultats après les améliorations proposées :	62
CONCLUSIONS	68
ANNEXES	70
ANNEXE 1 : données météorologiques d’Antananarivo	70
ANNEXE 2 : extrait des résultats après la simulation du bâtiment de base :	72

ANNEXE 3 : extrait des résultats de simulation du bâtiment amélioré :.....	78
BIBLIOGRAPHIE.....	84
RÉSUMÉ.....	86

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : capacité hygrométrique de l'air en fonction de la température.....	6
Figure 1.2 : cycle de l'eau	8
Figure 1.3 : rayonnements solaires.....	8
Figure 1.4 : classification des climats de la terre selon Köppen.....	9
Figure 1.5 : description du code des climats selon Köppen	10
Figure 1.6 : températures au niveau des parties corporelles.....	13
Figure 1.7 : température corporelle en fonction de la température de l'air (Homme au repos)	13
Figure 1.8 : taux de refroidissement par évaporation de la sueur en fonction de la température	15
Figure 1.9 : échanges thermiques de l'Homme avec l'extérieur (environnement).....	16
Figure 1.10 : impact de la santé (vue hygiénique) en fonction de l'humidité relative	18
Figure 1.11 : diffusion de la chaleur entre l'individu et l'ambiance selon divers mécanismes – échanges thermiques entre l'Homme et son environnement.....	19
Figure 1.12 : indices du PMV et zones de sensation.....	21
Figure 1.13 : PPD en fonction du PMV	21
Figure 1.14 : diagramme bioclimatique d'Olgay	24
Figure 1.15 : zone de confort thermique ; température en fonction de l'humidité relative.....	24
Figure 1.16 : récapitulation des zones d'influences établies par Givoni et Milné.....	27
Figure 1.17 : diagramme bioclimatique de Givoni et Milné avec ses zones	28
Figure 1.18 : différentes zones dans un diagramme psychométrique.....	28
Figure 1.19 : toiture métallique ; toiture double peau à trame parallèle.....	30
Figures 1.20 : isolation des murs composites :.....	30
Figure 1.21 : isolation des faux plafonds.....	31
Figure 1.22 : accrochage des panneaux de laine	32
Figure 1.23 : prolongement des toitures et ombrage par des arbres	33
Figure 1.24 : mur 'végétal'	33
Figure 2 1: localisation de Madagascar	34

Figure 2 2: carte d'Antananarivo.....	35
Figure 2 3: températures moyennes mensuelles d'Antananarivo	37
Figure 2 4: humidités relatives moyennes mensuelles d'Antananarivo	38
Figure 2.5 : précipitations moyennes mensuelles d'Antananarivo.....	39
Figure 2 6 : insolation moyennes mensuelles d'Antananarivo	39
Figure 2 7 : vitesses moyennes mensuelles des vents d'Antananarivo	40
Figure 2. 8 : site d'Antananarivo sur le diagramme bioclimatique de Givoni	42
Figure 3. 1 : Les grandes lignes de procédure de l'outil EnergyPlus	45
Figure 3. 2 : Le plan de l'habitat à modéliser.....	48
Figure 3. 3: zones de confort dans le diagramme psychométrique de Givoni.....	52
Figure 3. 4: courbes des humidités relatives moyennes quotidiennes de CH1.....	53
Figure 3. 5: courbes des températures moyennes quotidiennes de CH1	53
Figure 3. 6: courbes des températures moyennes quotidiennes de CH1 durant l'été.....	53
Figure 3. 7: courbes des températures moyennes quotidiennes de CH1 durant l'hiver	54
Figure 3. 8: la zone 1 dans le diagramme bioclimatique de Givoni, bâtiment de base	54
Figure 3. 9: courbes des humidités relatives moyennes quotidiennes de CH2.....	55
Figure 3. 10: courbes des températures moyennes quotidiennes de CH2	55
Figure 3. 11: courbes des températures moyennes quotidiennes de CH2 durant l'été.....	55
Figure 3. 12: courbes des températures moyennes quotidiennes de CH2 durant l'hiver	56
Figure 3. 13: la zone 2 dans le diagramme bioclimatique de Givoni, bâtiment de base	56
Figure 3. 14: courbes des humidités relatives moyennes quotidiennes de CH3.....	57
Figure 3. 15: courbes des températures moyennes quotidiennes de CH3	57
Figure 3. 16: courbes des températures moyennes quotidiennes de CH3 durant l'été.....	57
Figure 3. 17: courbes des températures moyennes quotidiennes de CH3 durant l'hiver	58
Figure 3. 18: la zone 3 dans le diagramme bioclimatique de Givoni, bâtiment de base	58
Figure 3. 19: courbes des humidités relatives moyennes quotidiennes de la zone 4.....	59
Figure 3. 20: courbes des températures moyennes quotidiennes de la zone 4	59

Figure 3. 21: courbes des températures moyennes quotidiennes de la zone 4 durant l'été	59
Figure 3. 22: courbes des températures moyennes quotidiennes de CH4 durant l'hiver	60
Figure 3. 23: la zone 4 dans le diagramme bioclimatique de Givoni, bâtiment de base	60
Figure 3. 24: la zone 1 du bâtiment de base	63
Figure 3. 25: comportement thermique de la zone 1 améliorée	63
Figure 3. 26: la zone 2 du bâtiment de base	64
Figure 3. 27: comportement thermique de la zone 2 améliorée	64
Figure 3. 28: la zone 3 du bâtiment de base	65
Figure 3. 29: comportement thermique de la zone 3 améliorée	65
Figure 3. 30: la zone 4 du bâtiment de base	66
Figure 3. 31: comportement thermique de la zone 4 améliorée	66
Figure 3. 32: vue de devant de l'habitat type modélisé.....	67
Figure 3. 33: vue de derrière de l'habitat type modelisé	67

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 1: échelle de Beaufort.....	7
Tableau 1 2 : classification des climats en fonction de l'indice d'aridité de De Martonne	11
Tableau 1 3: valeurs du métabolisme suivant l'activité	14
Tableau 1 4 : valeurs d'isolement thermique vestimentaire de quelques habits.....	17
Tableau 1 5 : refroidissement ressenti en fonction de la vitesse de l'air	18
Tableau 1 6 : réactions et situation de l'Homme en fonction de la vitesse du vent (air).....	19
Tableau 1 7 : échelle de la sensation	20
Tableau 1 8 : température opérative en fonction de l'activité de l'Homme et du degré de vêtue.....	22
Tableau 2 1 : Caractéristiques des six zones bioclimatiques de Madagascar	35
Tableau 2 2 : récapitulation de l'analyse bioclimatique sur Antananarivo	41
Tableau 2 3 : points (température moyenne mensuelle ; humidité relative moyenne mensuelle).....	42
Tableau 3 1 : caractéristiques du site.....	47
Tableau 3 2: L'occupation (calcul de la densité).....	49
Tableau 3 3: calcul du métabolisme	49
Tableau 3 4 : caractéristiques des murs et cloisons, bâtiment de base	50
Tableau 3 5 : caractéristiques des toits, planchers, plafonds	50
Tableau 3 6 : caractéristiques des portes	51
Tableau 3 7 : caractéristiques des fenêtres	51
Tableau 3 8 : Caractéristiques des vitres, bâtiment de base	52
Tableau 3 9 : caractéristiques des murs externes (bâtiment amélioré)	61
Tableau 3 10 : Caractéristiques des vitres (bâtiment amélioré).....	62

INTRODUCTION

Tous les êtres vivants sont créés de manière à vivre dans un équilibre de bien-être, dans le milieu où ils demeurent. Pour maintenir cet équilibre, ils ont besoin de la chaleur. Ils en produisent et en dégagent.

Mais ce milieu où ils vivent est gouverné par des éléments atmosphériques. Ces derniers, au cours du temps, varient et perturbent sérieusement l'équilibre de sensation de bien être des êtres vivants.

Certains de ces êtres arrivent à maintenir leur équilibre en dépit de ces perturbations et d'autres supportent difficilement ces variations ; les premiers sont appelés des homéothermes et les seconds des hétérothermes.

L'être humain, qui est au centre d'intérêt de toute préoccupation, fait partie des homéothermes.

Face à toute action visant à bouleverser son existence et de part sa nature même depuis la nuit des temps, l'Homme cherche toujours à se défendre, à établir son équilibre. C'est ainsi qu'il réagit, face aux malfaisances atmosphériques, en essayant de rétablir l'équilibre de sensation de confort de son milieu ; et cela par la création d'un enclos couvert, un gîte.

Ce refuge doit lui permettre non seulement de se protéger contre les méfaits climatiques mais aussi lui assurer une situation d'harmonie, d'aisance de bien-être physique, moral, psychologique ; un confort thermique.

L'Homme n'a cessé d'améliorer son logement pour mieux se protéger des aléas climatiques et pour mieux s'y sentir bien, s'y sentir confortable.

A travers ces diverses transformations, la conception de la recherche du bien-être, du confort thermique dans les habitations par des moyens technologiques, coûte de plus en plus cher et pire encore les moyens utilisés sont non seulement énergivores mais impactent négativement sur la nature.

En outre, la crise énergétique des années soixante dix a éveillé la conscience humaine sur l'épuisement des ressources énergétiques et sur la pollution de l'environnement.

D'où des recherches sur le confort thermique de l'habitat par des moyens moins énergivores et non polluants de la nature sont entreprises. Le concept du confort thermique par la prise en considération des aspects climatiques du milieu de l'habitat ainsi que de la gestion des ressources renouvelables, fait son chemin, permettant ainsi une économie oh combien précieuse d'énergie et une forte diminution de la dégradation de l'environnement.

Des réponses proposées dépendent de l'aspect climatique et des ressources renouvelables du lieu, tout étant moins énergivores et moins polluantes possibles : elles sont qualifiées de solutions passives.

A Madagascar, comme dans toute jeune nation en voie de développement, la construction de logements est une préoccupation majeure pour l'économie et surtout pour le confort thermique des habitants. Des milliers de maisons individuelles ou collectives y poussent chaque année, construites sans prendre en considération les moyens naturels existants pour atteindre le confort thermique, soit par habitude, soit par ignorance, soit par normalisation importée et surtout pour des raisons économiques.

Des recherches sont donc menées, depuis peu, dans le but d'atteindre le confort thermique de l'habitat en tenant compte des aspects climatiques locaux et en exploitant les ressources renouvelables. Parmi elles, je citerai les travaux de :

ANDRIANIAINA Harimalala ; thèse de doctorat, sur '*Modélisation de l'habitat type tsipoy du trano gasy vaovao dans la région d'Antananarivo, recherche de solutions passives*', en 2007.

Rakoto Joseph O., David M., Garde F.; article sur '*Development of climatic zones and passive design principles in the housing sector for the island of Madagascar*' en 2007.

Rakoto-Joseph O., David M., Adelard L. Randriaamanantany Z.A., article sur '*Development of climatic zones and passive solar design in Madagascar*' en 2009.

RAKOTO Harry Angelo, mémoire de DEA sur '*évaluation du confort thermique généré par des solutions passives : cas d'un bâtiment universitaire*' en 2012.

Notre étude, intitulée « **confort thermique d'une habitation bioclimatique à Antananarivo** », se veut une contribution, une approche à la recherche du confort thermique d'une habitation conçue dans le but d'engendrer un bien-être selon le climat d'Antananarivo.

Nous nous baserons sur l'analyse des éléments climatiques d'Antananarivo pour étayer notre étude avant de rechercher, en nous appuyant sur des facteurs du confort thermique, des solutions passives ; lesquelles solutions sont fondées sur des simulations numériques du bâtiment.

Pour mieux appréhender de façon claire le confort thermique de l'habitat et pouvoir bien avancer une solution 'bioclimatique', il est nécessaire de bien comprendre ce que sont le climat et le confort thermique.

Aussi notre étude se répartira en cinq parties comme suit :

- Introduction ;
- Chapitre 1 : notions de climat et du confort thermique ;
- Chapitre 2 : analyse du confort thermique à Antananarivo ;
- Chapitre 3 : simulation numérique du confort thermique avec le logiciel EnergyPlus ;
- Conclusions générales.

CHAPITRE 1 : CLIMAT – CONFORT THERMIQUE

A. LE CLIMAT

1.1 : Introduction

Nous venons de le dire, le milieu où l'Homme mène son existence est gouverné par des éléments atmosphériques. Tout changement d'un de ces éléments perturbe considérablement l'équilibre de la sensation de bien-être de l'individu.

Par ailleurs ces mêmes éléments météorologiques jouent un rôle important dans la structure, la forme du gîte qui sert de protection contre leurs déchainements ; l'adoption de prolongements pour une construction, des auvents par exemple, est fonction de la fréquence et de la quantité des précipitations et également de la vitesse et l'orientation des vents de la région.

Cela montre l'importance du climat dans l'équilibre biologique des êtres vivants dont l'Homme fait partie et surtout pour son confort thermique.

Ce qui nécessite avant tout une compréhension approfondie du climat et de ses éléments caractéristiques, permettant ainsi d'appréhender leur effet, aussi bien, sur les constructions que sur le confort thermique.

1.2 : Définition

Le climat, selon le Disco Encarta 2008, est « l'ensemble des phénomènes météorologiques qui se produisent au-dessus d'un lieu dans leur succession habituelle ».

1.3 : Facteurs déterminants du climat

Les principaux éléments déterminants du climat en un lieu donné sont la latitude, l'altitude et l'éloignement de la mer :

- latitude : est, selon le Disco Encarta 2008, le système de repérage géométrique par construction de cercles concentriques imaginaires autour du globe terrestre permettant de localiser un point par rapport à l'équateur.

- altitude : est, selon le Disco Encarta 2008, l'élévation par rapport au niveau moyen de la mer. La température diminue au fur et à mesure que l'altitude augmente.
- éloignement de la mer : les océans sont rafraîchissants que les continents ; plus l'on s'éloigne de la mer, leur effet adoucissant s'atténue jusqu'à s'annuler pratiquement au cœur des continents

1.4 : Éléments climatiques

Les éléments qui déterminent le type du climat d'un lieu sont la température de l'air, l'humidité de l'air, les vents, les précipitations et les radiations solaires ; des éléments quantifiables à l'aide d'instruments de mesures, et dont l'analyse de leurs valeurs permet de déterminer le type de climat.

1.4.1 : Température de l'air :

C'est la valeur exprimant la chaleur ou le froid de l'atmosphère ou de l'air ambiant d'un lieu donné.

La température s'exprime en degré Celsius (°C) ou en Kelvin (K).

Elle est mesurée à l'aide des thermomètres.

1.4.2 : Humidité de l'air :

La teneur en eau de l'air s'appelle l'humidité. Elle provient de l'évaporation des eaux (océans, eaux surfaciques, nappes) et la transpiration des êtres vivants (plantes et animaux).

L'air humide est donc un mélange de vapeur d'eau et d'air sec. Ainsi l'humidité peut se définir et s'exprimer de plusieurs manières :

- Humidité absolue en gramme par mètre cube (g/m^3)
- Humidité spécifique en g par kilogramme (g/kg)
- Humidité relative en pourcentage (%)

L'humidité relative se mesure avec un hygromètre.

La figure 1.1 donne l'humidité absolue en fonction de la température.

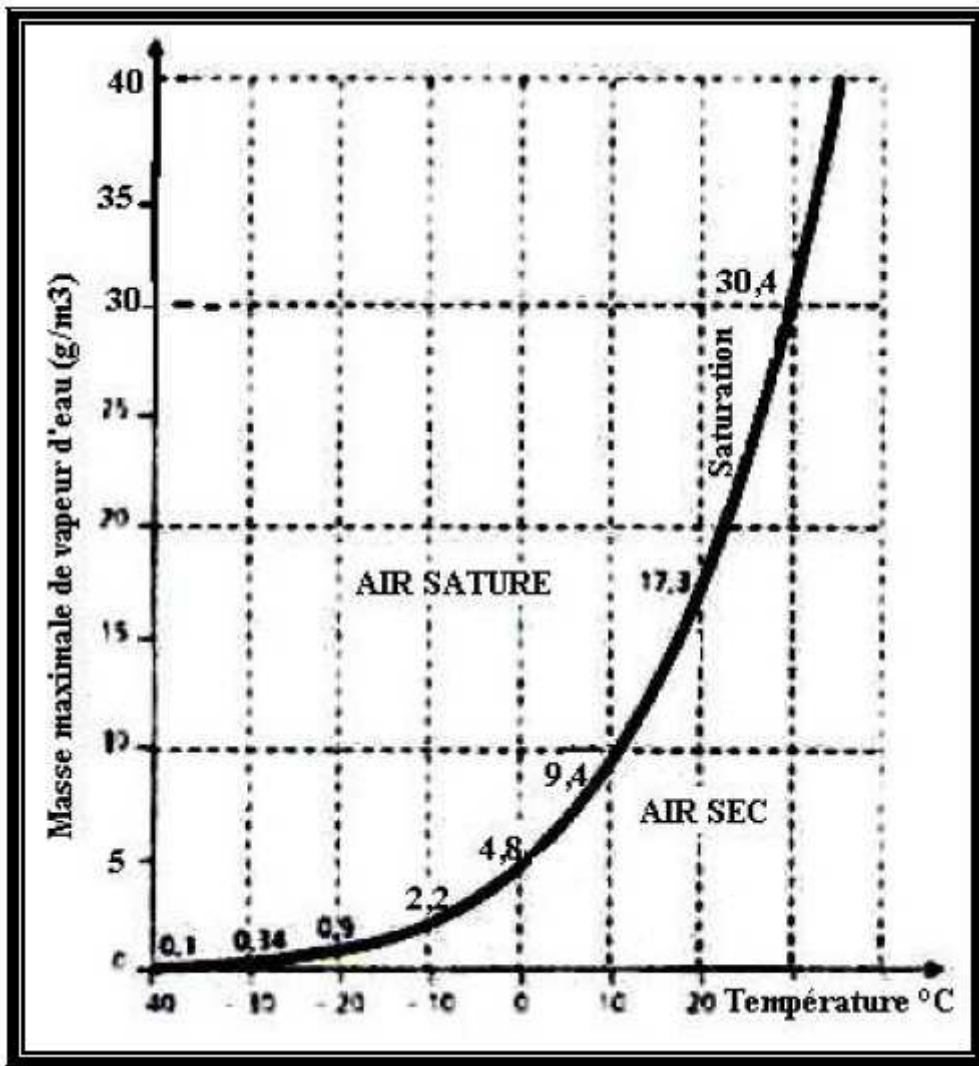


Figure 1.1 : capacité hygrométrique de l'air en fonction de la température

Source : Martine Tabeaud, *la climatologie*, Armand Colin, 2000, Paris.– [3]

1.4.3 : Vent :

Le mouvement de l'air dans diverses directions de la terre s'appelle « le vent ». Cela provient de l'inégalité des pressions provoquées par des différences de températures, en un lieu à un même instant.

Le vent, un élément climatique très instable, est caractérisé par sa vitesse en mètre par seconde (m/s), sa direction et sa fréquence.

La girouette et l'anémomètre mesurent respectivement la direction et la vitesse du vent.

L'échelle de Beaufort, voir le tableau 1.1 suivant, donne une appréciation de l'homme vis-à-vis de l'état du vent.

Tableau 1 1: échelle de Beaufort

Vitesse du vent (m/s)	Caractéristiques du vent
Force	
2	Les visages ressentent le froid, les feuilles bruissent.
3	Feuilles et petits rameaux en mouvement permanent, le vent déploie pleinement les drapeaux, les cheveux sont dérangés, les vêtements amples battent au vent.
4	Les poussières et les papiers se souèvent, les branches s'agitent, les cheveux se décoiffent.
5	Les petits arbres avec les feuilles oscillent, la marche est légèrement perturbée.
6	Les grosses branches se mettent en mouvement, le vent siffle dans les fils téléphoniques, la marche devient instable.
7	Les branches d'arbres très en mouvement, grosse difficulté à marcher contre le vent.
8	Les branches d'arbres se cassent, progression pedestre très difficile et dangereuse.
9	Risque d'être violemment projeté à terre.

Source : P. Lavigne, *architecture climatique*, ÉDUSUD, Aix-en-Provence, 1994 – [3]

1.4.4 : Précipitations :

Les précipitations sont toutes les eaux : pluie, neige, grêle, rosée, etc.

- qui se condensent dans l'atmosphère
- qui tombent ou se déposent ensuite à la surface de la Terre.

L'instrument permettant le relevé des précipitations est le pluviomètre.

L'unité de mesure est le millimètre (mm).

La quantité cumulée des précipitations de l'année permet de déterminer non seulement les saisons sèches et humides mais aussi la conception architecturale d'une habitation : forme et inclinaison des toitures, drainage, types de matériaux...etc.

La figure 1.2 suivante montre le cycle de l'eau

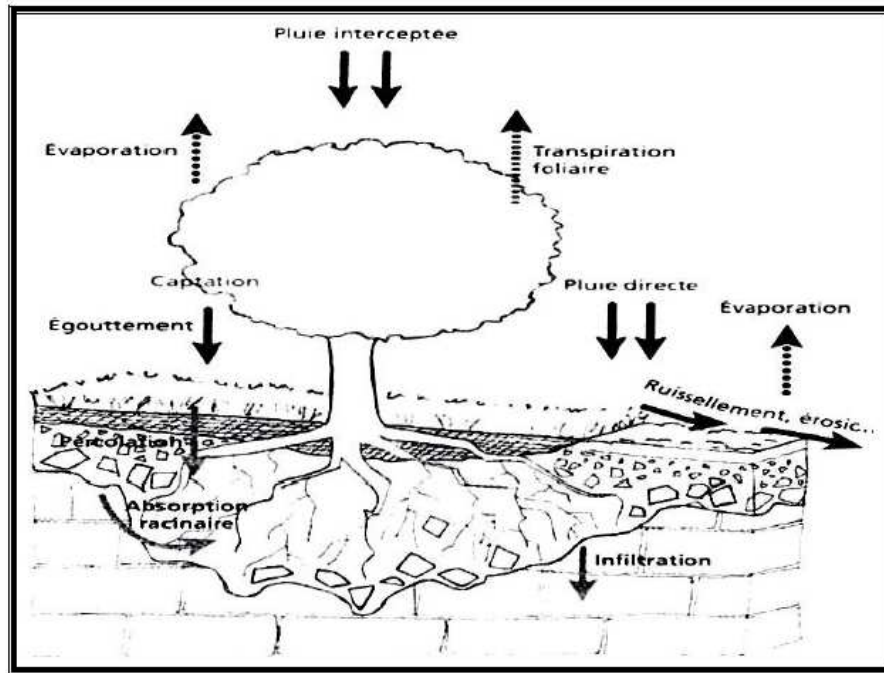


Figure 1.2 : cycle de l'eau

Source : Martine Tabeaud, *la climatologie*, Armand Colin, 2000, Paris.– [3]

1.4.5 : Rayonnements solaires :

Les rayonnements solaires comprennent deux composantes ; rayonnement direct (issu du soleil) et rayonnement diffus en provenance de la voûte céleste. Voir la figure 1.3.

Rayonnement global est la somme des deux rayonnements.

L'appareil servant à mesurer le rayonnement global est le « pyromètre ».

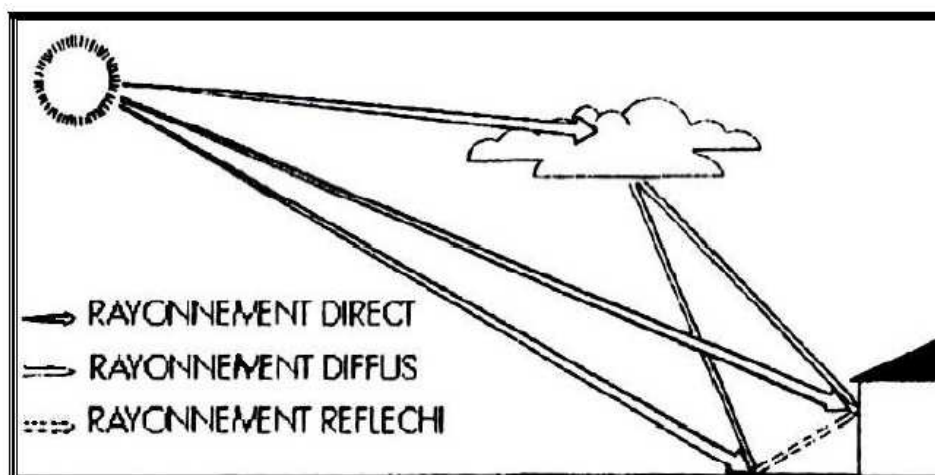


Figure 1.3 : rayonnements solaires

Source : J-L. Izard, 1993– [3]

1.5 : Classification du climat

Plusieurs facteurs interviennent pour caractériser les différentes sortes de climats dans le monde.

Les chercheurs ont défini et adopté des facteurs caractéristiques des climats : décrivons deux des classifications les plus utilisées : celle de Köppen et celle de De Martonne.

Les deux systèmes combinent la température et les précipitations pour classer les climats.

1.5.1 : Classification selon Köppen¹ :

La classification la plus fréquente admise est celle de Vladimir Köppen, météorologue soviétique du début du siècle.

Le système utilise un code combinant trois lettres ; ainsi le climat d'une région donnée est repéré par ce code ; la première lettre, en majuscule, indique le type de climat, la seconde, en lettre minuscule, le régime pluviométrique et la troisième, en minuscule, spécifie les variations de température.

Les figures 1.4 et 1.5 décrivent respectivement la classification des différents climats de la Terre et les différents codes.

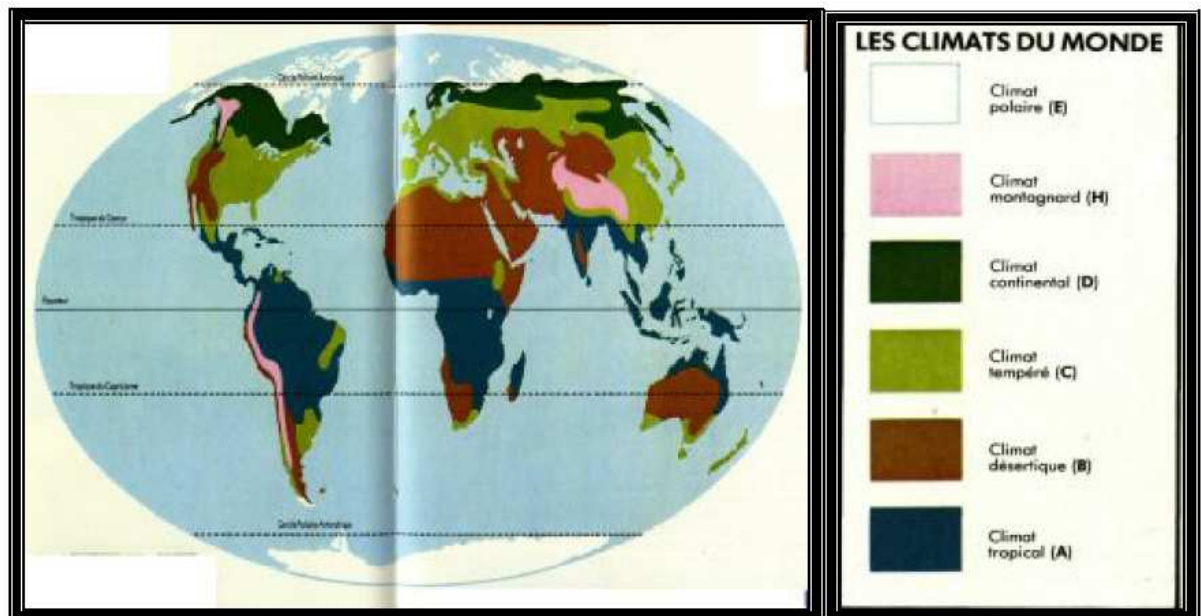


Figure 1.4 : classification des climats de la terre selon Köppen.

Source : Keith Lye, *notre planète la terre*, Hatier, Fribourg (Suisse), 1985– [3]

¹ Keith Lye, *notre planète la terre*, Hatier, Fribourg (Suisse), 1985

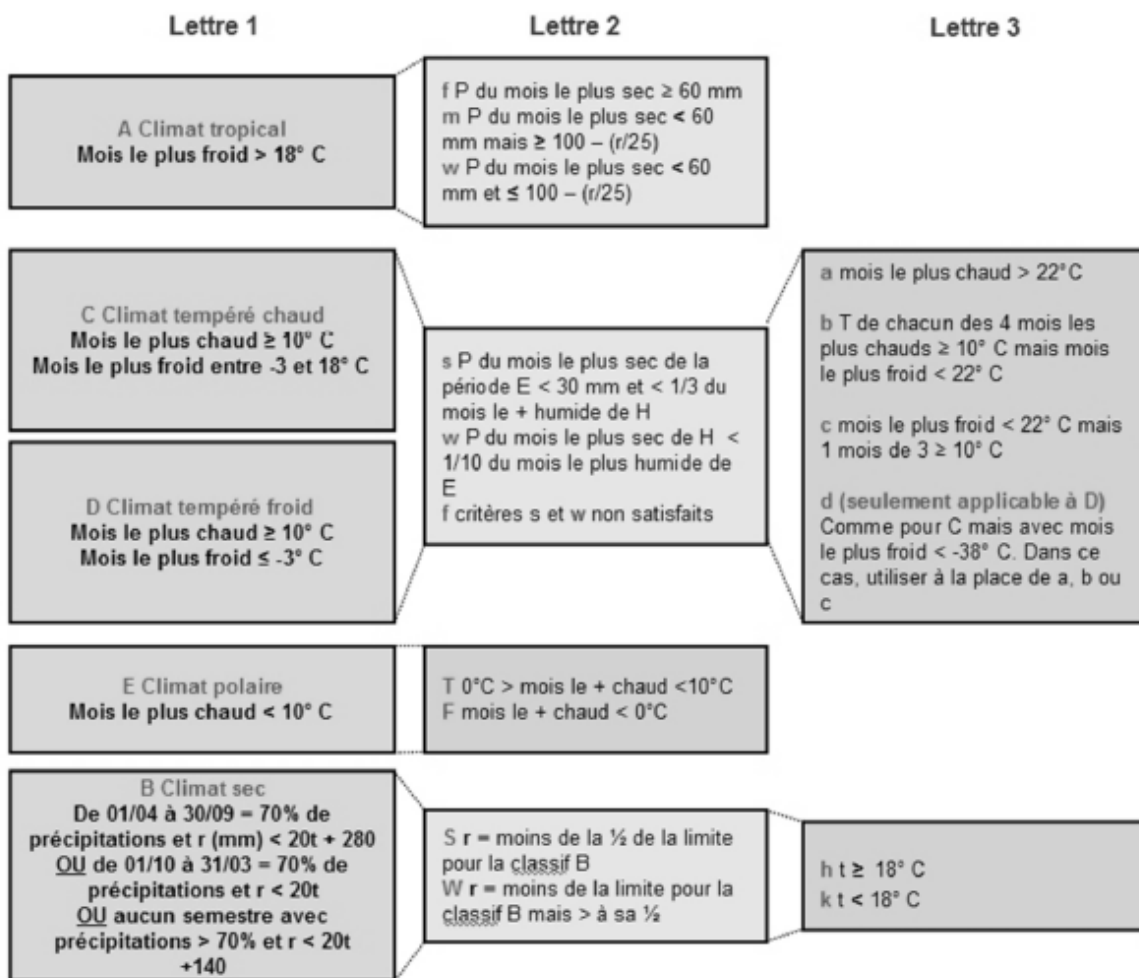


Figure 1.5 : description du code des climats selon Köppen

Source : [16]

1.5.2 : Classification selon De Martonne² :

De Martonne utilise un indice très simple à calculer ; l'indice d'aridité noté I_{DM} et défini

comme suit :
$$I_{DM} = \frac{P}{T+10}$$

Avec,

- I_{DM} = indice d'aridité de De Matonne
- P = Précipitation de l'année (mm)
- T = température moyenne annuelle (°C)

² Guyot, G, *climatologie de l'environnement*, 2è édition, DUNOD, Paris, 1999

D'où la classification des climats en fonction des valeurs de l'indice d'aridité selon De Martonne voir tableau 1.2.

Tableau 1 2 : classification des climats en fonction de l'indice d'aridité de De Martonne

Valeur de l'indice	Type de climat
$0 < I_{DM} < 5$	Hyper-aride
$5 < I_{DM} < 10$	aride
$10 < I_{DM} < 20$	semi-aride
$20 < I_{DM} < 30$	Semi-humide
$30 < I_{DM} < 55$	humide

Source : Guyot. G, *climatologie de l'environnement*, 2è édition, DUNOD, Paris, 1999 – [3]

B. LE CONFORT THERMIQUE

1.1 : Introduction :

L'être humain passe la plupart de son temps, que ce soit au travail ou en famille ou ailleurs, dans un enclos couvert. Cet abri doit lui fournir une ambiance de bien-être, une certaine aisance de vivre : le confort surtout thermique.

Bien que l'Homme, c'est bien connu, possède la faculté d'adaptation à l'environnement naturel et social, l'acclimatation, la sensation de bien-être pour lui dépend de plusieurs facteurs mis en jeu de façon simultanée ; la température ambiante de l'air, le taux d'humidité, les vêtements, l'état sanitaire, la constitution physique du corps, l'âge, le sexe, le bruit, l'éclairage, les couleurs, l'alimentation, les types de travail, les relations humaines, les considérations psychologiques.

Néanmoins les chercheurs ont choisi les paramètres les plus déterminants d'une ambiance de bien-être afin d'avoir un confort optimum.

1.2 : Notion de confort thermique :

La notion de confort est tout simplement la sensation de bien-être ressentie par tout individu ; une impression relative à chacun, comme l'a définie BELAKEHAL « .. loin d'être une valeur immanente, le confort est une construction culturelle qui s'élabore et se

transforme selon les mythes et les valeurs dominantes de la culture dans laquelle il se déploie » - [6]

Notre sensation subjective de 'chaud' et de 'froid', de bien-être ou de malaise, dépend en grande partie des températures personnelles et environnantes d'où le terme de confort thermique mais également d'autres facteurs tels le degré hygrométrique de l'air, de la vitesse de l'air.

Des paramètres qui sont sentis, évalués et appréciés individuellement, socialement, historiquement ; d'où la complexité de pouvoir donner une définition 'absolue', 'précise et claire' de la notion de confort.

Retenons seulement qu'une personne est en situation de confort thermique lorsqu'elle éprouve une sensation ni chaude ni froide.

Nous allons décrire des caractéristiques liées à cette notion de confort thermique pour la cerner davantage.

1.3 : Bilan thermique :

Dans le processus d'équilibre thermique, de production et de dégagement de chaleur, le corps humain échange en permanence de la chaleur avec son environnement immédiat ; donc un bilan thermique s'établit. Ces transferts de chaleur interviennent au niveau de la température humaine, du métabolisme et des échanges thermiques avec l'extérieur.

1.3.1 : de la température humaine :

L'être humain a besoin de chaleur pour vivre réellement ; c'est sa température. Il en produit et en dégage. Etant de la catégorie des homéothermes, il garde sa température centrale autour de 37°C. Cette dernière est plutôt interne car au niveau extérieur, comme le montrent les figures 1.6 et 1.7, les températures corporelles varient.

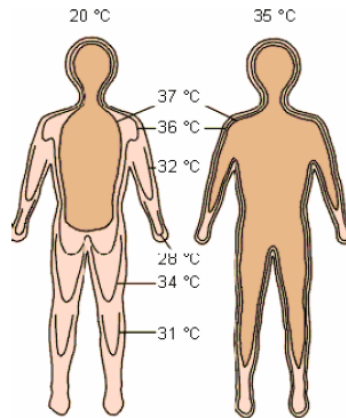


Figure 1.6 : températures au niveau des parties corporelles

Source : Boutaba 2007 – [6]

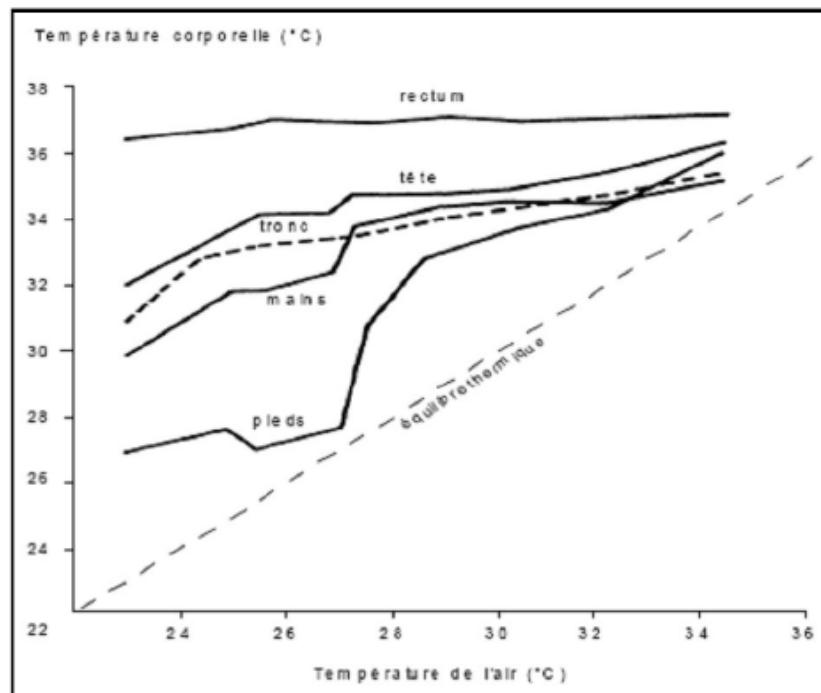


Figure 1.7 : température corporelle en fonction de la température de l'air (Homme au repos)

Source : M. millanvoye, 2002-2003– [6]

1.3.2 : du métabolisme : production de chaleur interne

Le **métabolisme** ou production de chaleur interne est l'ensemble des réactions chimiques qui se produisent au sein d'un être vivant pour lui permettre notamment de se maintenir en vie.

Le Métabolisme noté M exprime la quantité de chaleur par unité de surface de la peau.

Le Met ou taux métabolique est l'unité de cette quantité de chaleur. 1 Met vaut 58 W/m^2 .

Le tableau 1.3 indique les valeurs du taux métabolique en fonction de l'activité de l'Homme.

Tableau 1 3: valeurs du métabolisme suivant l'activité

Activité	Taux métabolique [M]	
S'asseoir se détendre	58 W/m^2	1.0 Met
être debout décontracté	70 W/m^2	1.2 Met
Conduite de voiture	80 W/m^2	1.4 Met
Marche plane, 2 km/h	110 W/m^2	1.9 Met
Marche plane, 5 km/h	200 W/m^2	3.4 Met
Sports : courir , 15 km/h	550 W/m^2	9.5 Met

Source : Boutaba, 2007 - [6]

1.3.3 : des échanges thermiques avec l'ambiance : les six phénomènes

Entre le corps humain produisant la chaleur (métabolisme M) et l'extérieur s'effectuent des transferts de chaleur dus aux pertes provenant de la peau et des voies respiratoires.

Les échanges faisant intervenir la peau :

- échanges de chaleur au niveau de la peau par conduction notées K : ils dépendent de la température moyenne de la peau, du matériau en contact et du coefficient d'échange par conduction.
- échanges de chaleur au niveau de la peau par convection notées C : ils dépendent de la grandeur de la surface de la peau en contact avec l'air et aussi de la vitesse du vent.
- échanges de chaleur au niveau de la peau par rayonnement notées R : dépendent de la différence de température entre le corps humain, les surfaces environnantes et la distance qui les sépare et le pouvoir d'absorption et d'émission du rayonnement électromagnétique.
- échanges de chaleur au niveau de la peau par évaporation de la sueur notés E : l'évaporation est favorisée par la circulation de l'air même si l'ambiance conserve une température et une humidité relative stable. Elle est empêchée par un vêtement

impermeable. La figure 1.8 montre le refroidissement par évaporation de la sueur en fonction de la température.

Les échanges faisant intervenir les voies respiratoires :

- échanges de chaleur au niveau des voies respiratoires par convection notées C_{res} : ils dépendent du vent et des températures de l'air inspiré et de l'air expiré.
- échanges de chaleur au niveau des voies respiratoires par évaporation notées E_{res} : ils dépendent du vent et des pressions partielles de l'humidité de l'air inspiré et de l'air expiré.

D'où le bilan thermique à l'équilibre :

$$M - W = K + C + R + E + C_{res} + E_{res}$$

M étant le métabolisme ;

W est le travail mécanique ; au repos : $W = 0$, en activité $W \neq 0$

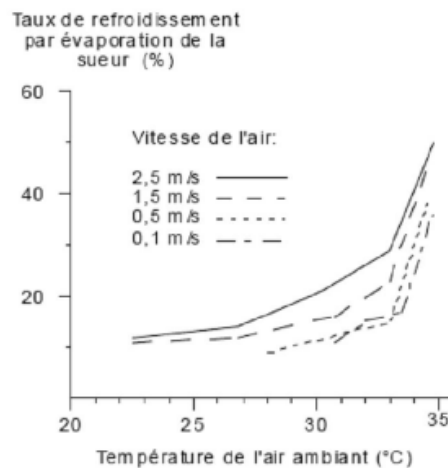


Figure 1.8 : taux de refroidissement par évaporation de la sueur en fonction de la température

Source : Boutaba, 2007 - [6]

La figure 1.9 résume les différents échanges subis par l'organisme.

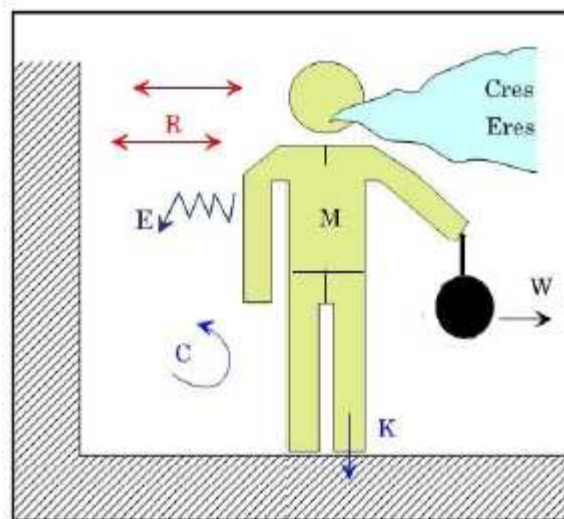


Figure 1.9 : échanges thermiques de l'Homme avec l'extérieur (environnement)

Source : Boutaba, 2007 - [6]

1.4 : Facteurs de confort thermique :

La sensation du confort thermique, nous l'avons évoquée, dépend de plusieurs facteurs mis en jeu simultanément. Les plus déterminants sont les six facteurs majeurs physiologiques, comportementaux et environnementaux suivants :

1.4.1 : Le métabolisme (décrit ci-dessus) :

C'est la production de la chaleur interne du corps humain maintenu autour de 37°C.

1.4.2 : L'habillement :

Un vêtement est une résistance thermique entre la peau et l'environnement. Il présente une caractéristique d'isolement vestimentaire à laquelle une valeur lui est associée.

L'unité d'isolement vestimentaire est le clo ; $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$.

Une échelle des clo est conçue de façon qu'une personne nue ait une valeur d'isolement 0 et qu'une personne portant un costume ait une valeur d'isolement de 1.

La valeur de l'isolement d'une tenue est la somme des valeurs unitaires des éléments comportant cet habillement.

Le tableau 1.4 donne les valeurs d'isolement thermique vestimentaire de quelques habits.

Tableau 1 4 : valeurs d'isolement thermique vestimentaire de quelques habits

Description du vêtement	Clo
Chemisier léger, manche courte	0.09
Chemise légère, manches longues	0.15
Shorts	0.06
Pantalon léger	0.20
Pantalon normal	0.25
Pull-over mince	0.20
légère veste d'été	0.25
Chaussette	0.02
Chaussette cheville, épaisse	0.05
Chaussure, semelle fine	0.02
Chaussure, semelle épaisse	0.04
Jupe légère, 15 centimètres au-dessous des genoux	0.18
Robe légère sans manches	0.25

Source : Boutaba, 2007 - [6]

1.4.3 : La température ambiante de l'air, T_a :

La température de l'air ambiant interne est un élément essentiel à prendre en considération. L'intervalle de température de confort est [18°C ; 25°C].

1.4.4 : La température moyenne des parois, T_p : (ou température radiante)

La température radiante est la température moyenne des parois.

Elle précise la nature de l'isolation ou de l'inertie thermique d'une paroi ; le coefficient de conductivité thermique de la paroi doit être inférieur ou égal à 1,2 W/m°C et la différence entre la température radiante et la température ambiante intérieure ne dépasse pas 5°C pour une bonne ambiance thermique interne.

1.4.5 : L'humidité relative de l'air, H_r :

L'intervalle de confort de l'humidité relative est : [20% ; 80%].

L'air devient trop sec en dessous de 20%, et trop humide au dessus de 80%.

La figure 1.10 donne une idée de l'impact de l'humidité relative sur l'hygiène.

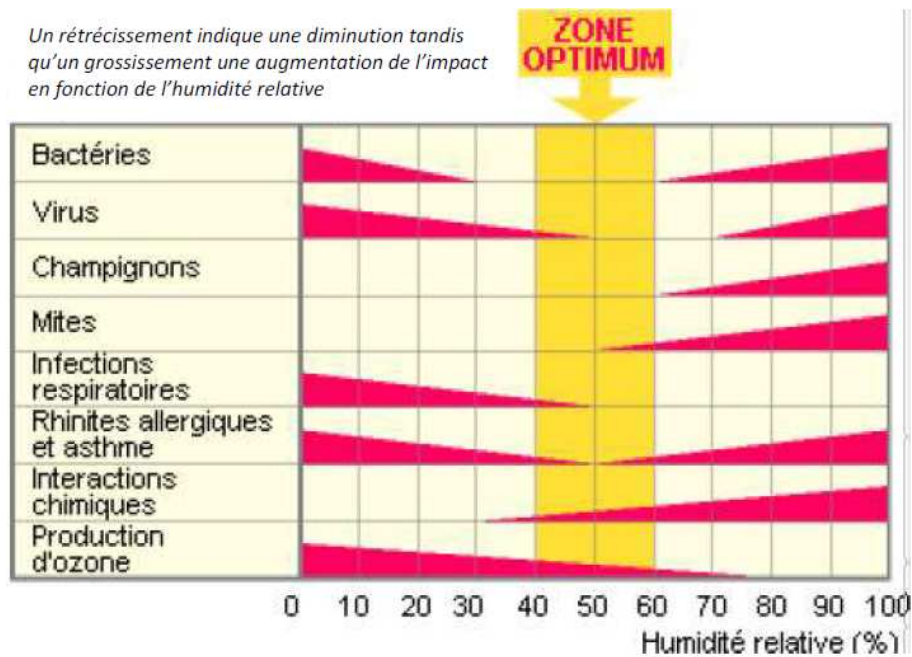


Figure 1.10 : impact de la santé (vue hygiénique) en fonction de l'humidité relative
 Source : Scofield et Sterling – Energie+, 2012 - [6]

D'où l'intervalle de confort optimum : [40% ; 60%]

1.4.6 : La vitesse de l'air :

La vitesse relative de l'air sur l'individu influe sur les échanges par convection. Dans un bâtiment la vitesse de confort thermique doit être inférieure ou égale 0,2 m/s. Les tableaux 1.5 et 1.6 donnent une idée respectivement du refroidissement en fonction de la vitesse du vent et des réactions en fonction de la vitesse du vent.

Tableau 1 5 : refroidissement ressenti en fonction de la vitesse de l'air

vitesse de l'air en m/s	refroidissement équivalent en °C
0,1	0
0,3	1
0,7	2
1,0	3
1,6	4
2,2	5
3,0	6
4,5	7
6,5	8

Source : Energie+, 2012 - [6]

Tableau 1 6 : réactions et situation de l'Homme en fonction de la vitesse du vent (air)

Vitesses résiduelles	Réactions	Situation
0 à 0.08 m/s	Plaintes quant à la stagnation de l'air	Aucune
0.13 m/s	Situation idéale	Installation de grand confort
0.13 à 0.25 m/s	Situation agréable mais à la limite du confort pour les personnes assises en permanence	Installation de confort
0.33 m/s	Inconfortable, les papiers légers bougent sur les bureaux	Grandes surfaces et magasins
0.38 m/s	Limite supérieure pour les personnes se déplaçant lentement	Grandes surfaces et magasins
0.38 à 0.5 m/s	Sensation de déplacement d'air important	Installations industrielles et usines où l'ouvrier est en mouvement

Source : Energie+, 2012 - [6]

La figure 1.11 est une synthèse des six facteurs influents sur le confort thermique intérieur.

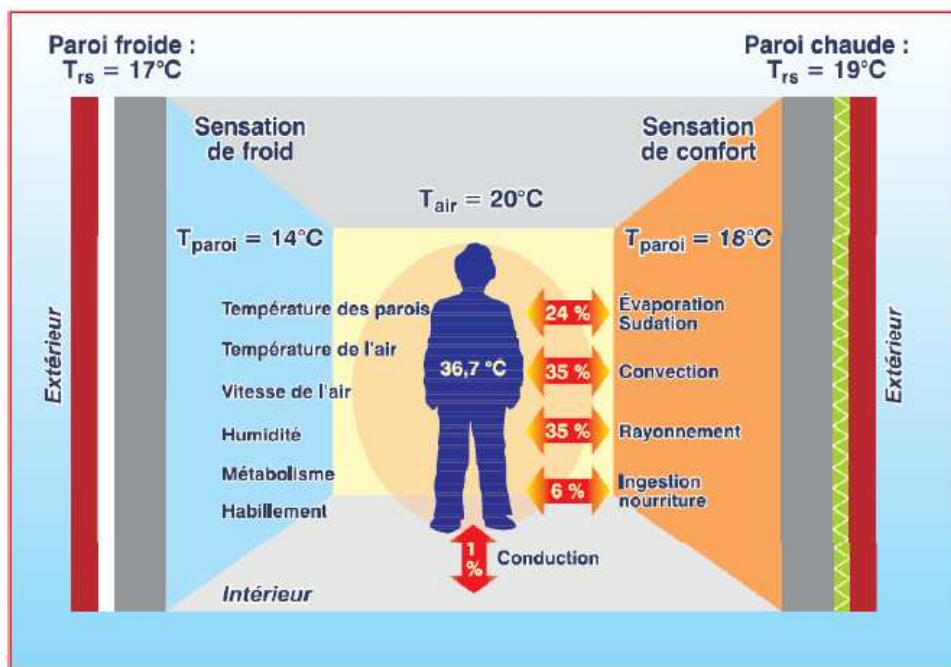


Figure 1.11 : diffusion de la chaleur entre l'individu et l'ambiance selon divers mécanismes – échanges thermiques entre l'Homme et son environnement.

Source : Liébard A. & de Herde A., 2005 - [6]

1.5 : Évaluations du confort thermique : Stratégies d'évaluation du confort thermique :

Pour pouvoir évaluer le confort thermique et disposer des outils d'aide à la conception des bâtiments, des chercheurs ont développé des méthodes de combinaison des paramètres climatiques (température, humidité relative, vent, ...).

Ces méthodes qui intègrent les facteurs météorologiques déterminants dans la conception architecturale, peuvent être exprimées sous forme de représentations graphiques, de diagrammes ou de tableaux.

Basées sur des expérimentations, elles présentent une succession de différentes zones adjacentes, des polygones, donnent des informations sur l'ambiance thermique et proposent des recommandations en utilisant des solutions passives dépendantes du climat et des ressources énergétiques renouvelables de la place.

Les plus connues et les plus utilisées de ces méthodes sont :

- a. PMV
- b. PPD
- c. Température opérative
- d. Diagrammes bioclimatiques.

1.5.1 : Le PMV : Predicted Mean Vote : l'indice de vote moyen prévisible

Le PMV, Predicted Mean Vote en anglais ou indice de vote moyen prévisible est un nombre évaluant le niveau de confort thermique atteint dans un local.

Le PMV est l'avis moyen de vote de sensation du confort thermique d'un groupe de gens. Une échelle de sensations est établie à cet effet voir le tableau 1.7 et la figure 1.12.

Tableau 1 7 : échelle de la sensation



+3	chaud
+2	tiède
+1	légèrement tiède
0	neutre
-1	légèrement frais
-2	frais
-3	froid

Source : Mazouz Saïd, sans date, Liébard A. & de Herde A., 2005 - [7]

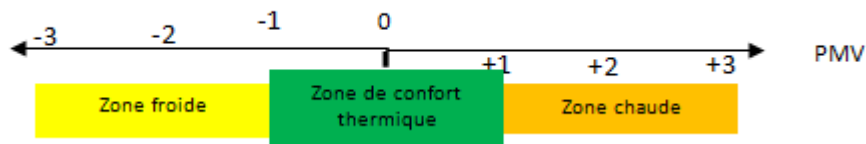


Figure 1.12 : indices du PMV et zones de sensation

- 0 est la valeur de PMV de sensation de confort thermique idéale ;
- une valeur positive de PMV est une sensation de température élevée ;
- une valeur négative de PMV est une sensation de température basse.

La zone de confort thermique est l'intervalle [-1 ; +1].

1.5.2 : Le PPD : Predicted Percentage Dissatisfied ; pourcentage prévisible d'insatisfaits

Le PPD, Predicted Percentage Dissatisfied ou le pourcentage prévisible d'insatisfaits est le taux des personnes insatisfaites qui se base sur la théorie de W. Rybczynski selon laquelle « il est plus simple d'évaluer le manque de confort que le confort » [18]

Le PPD donne le pourcentage de personnes insatisfaites par rapport à la situation.

Le PPD est calculé à partir de l'expression :

$$PPD(PMV) = 1 - 0,95.e^{[-0,00353.PMV^4 - 0,21709.PMV^2]}$$

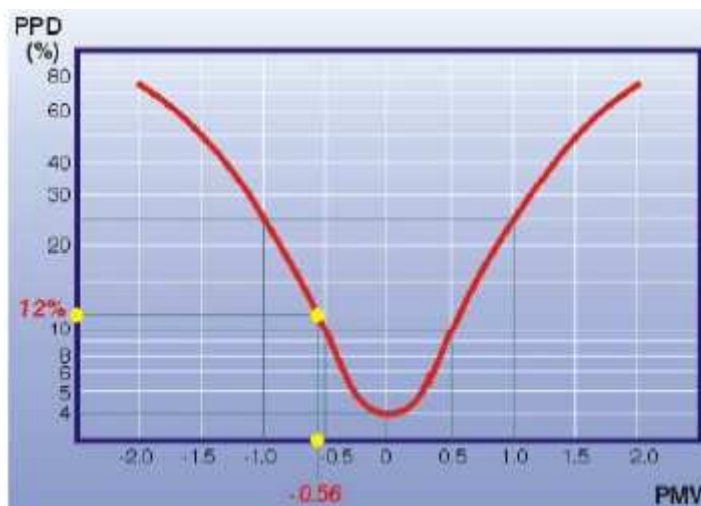


Figure 1.13 : PPD en fonction du PMV

Source : Mazouz Saïd, sans date, Liébard A. & de Herde A., 2005 - [7]

- Plus l'intervalle du PMV est étendu, centré en 0, plus le PPD est grand (et on s'éloigne du confort thermique)
- Plus l'intervalle du PMV est étroit, centré en 0, plus le PPD est faible (et on s'approche du confort thermique)

Ainsi pour un PMV entre -0,5 et + 0,5 le PPD montre 10% d'insatisfaits donc 90% de satisfaits. L'intervalle optimum du PMV est [-0.5 ; 0.5].

1.5.3 : La température opérative : ou température résultante sèche.

La température opérative ($T^{\circ}_{opérative}$) est la température moyenne des températures ambiante interne (T°_{air}) et radiante (T°_{parois}):

$$\text{La relation entre ces trois entités est : } T^{\circ}_{opérative} = \frac{T^{\circ}_{air} + T^{\circ}_{parois}}{2} = \frac{T_a + T_p}{2}$$

La température opérative dépend d'autres paramètres du confort ; le tableau 1.8 donne la température opérative en fonction du métabolisme et de l'isolement vestimentaire :

Tableau 1 8 : température opérative en fonction de l'activité de l'Homme et du degré de vêtue

Activité	Métabolisme (en met)	Résistance thermique du vêtement (en clo)	Température opérative (en °C)
Repos, sommeil	0,8	2,2	18 (±3)
Activité sédentaire	1	1,5	20(±2,5)
Activité légère	2	1	16 (±3)
Activité forte	3	1	10 (±4)
Hygiène personnelle	1,4	0	27 (±1)

Les valeurs extrêmes de chaque plage de température correspondent à un taux de satisfaction réduit, 10% des usagers exprimant une sensation d'inconfort.

Source : Mazouz Saïd, sans date, Liébard A. & de Herde A., 2005 - [7]

1.5.4 : Les diagrammes bioclimatiques :

Les chercheurs ont associé les facteurs climatiques et environnementaux sous forme d'outils graphiques, des diagrammes psychométriques. Ces derniers définissent, selon les conditions climatiques intérieures, des zones de confort thermique ; la zone optimale et des zones de conditions supportables.

Un diagramme bioclimatique est un instrument de synthèse qui, sur la base des données climatiques extérieures et des paramètres de contrôle du confort thermique, propose des données des solutions architecturales.

Les outils les plus connus sont ; les diagrammes d'Olgay et de Givoni, les tables de Mahoney et les méthodes de Szokolay et de Novell.

Décrivons deux de ces diagrammes : celui d'Olgay et celui de Givoni.

1.5.5.a : DIAGRAMME BIOCLIMATIQUE D'OLGYAY :

Les frères Olgay sont les premiers à établir, en 1973, un diagramme psychométrique pour le confort thermique des bâtiments. Ils se fondent sur des expériences dans des zones climatiques en fonction des éléments climatiques, températures, humidités, vitesses du vent, rayonnement solaire, pour élaborer leur outil portant leur nom.

Ce diagramme psychométrique d'évaluation de confort se base sur les paramètres climatiques : la température ambiante interne, la température radiante, l'humidité relative, la vitesse du vent, le rayonnement solaire et la perte de chaleur évaporative.

Il considère l'humidité relative comme abscisses et la température comme ordonnées et les autres éléments comme paramètres.

Il délimite des zones dont celle de confort optimum située au milieu du diagramme avec une séparation des zones d'hiver et d'été.

Les figures 1.14 et 1.15 montrent deux sortes de diagramme psychométrique d'Olgay. Selon les causes de l'inconfort constaté, le diagramme mentionne les solutions à préconiser pour ramener le confort thermique.

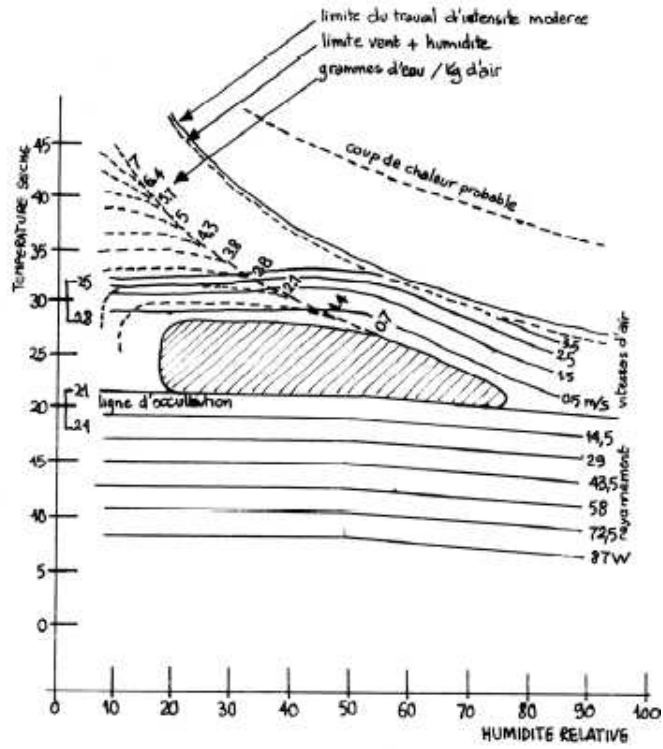


Figure 1.14 : diagramme bioclimatique d’Olgyay

Source : Mazouz Saïd, sans date, Givoni, 1978 - [7]



Figure 1.15 : zone de confort thermique ; température en fonction de l’humidité relative.

Source : Liébard A. & De Herde A., 2005 - [7]

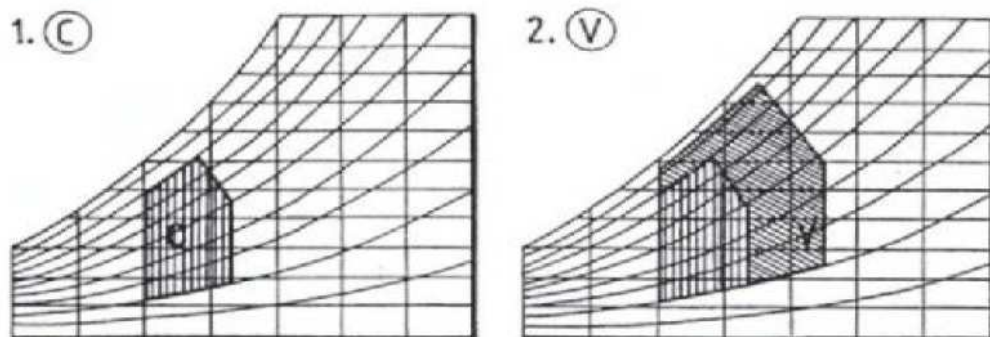
1.5.5.b : DIAGRAMME BIOCLIMATIQUE DE GIVONI :

En 1978 Milné et Givoni, se fondant sur des études relatives au métabolisme et aux diverses voies d'échanges thermiques entre le corps et l'environnement, inventent un diagramme portant leur nom.

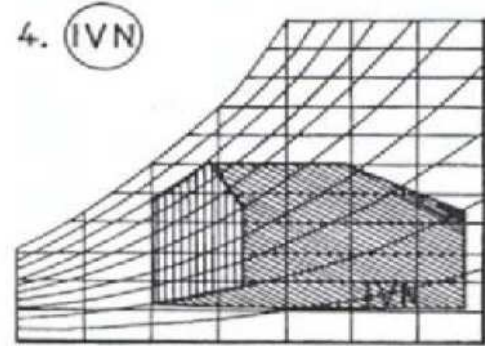
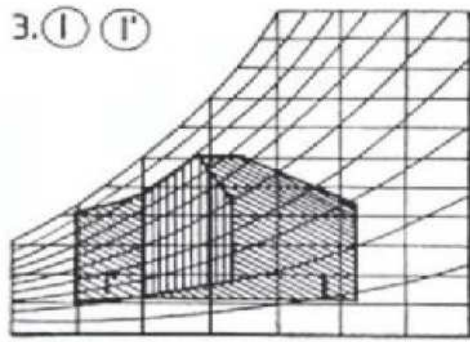
Ce diagramme psychrométrique d'évaluation de confort se base sur les quatre paramètres climatiques : température sèche, température humide, humidité absolue et humidité relative. Il délimite plusieurs zones de confort dont une de confort thermique optimum et d'autres des zones de confort supportables.

Les figures 1.16 et 1.17 montrent les zones d'influences établies par Givoni et Milné et qui sont détaillées ci-après :

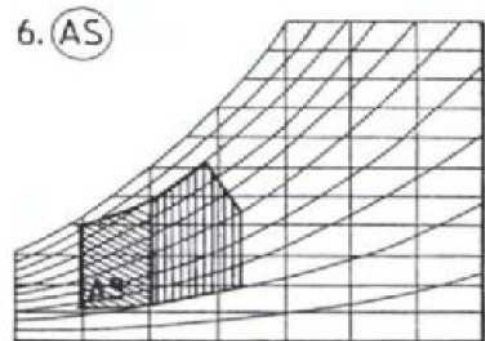
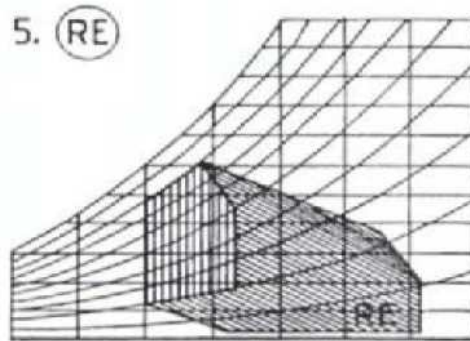
1. « **C** » : zone de confort en air calme, ou zone de confort optimum ; les caractéristiques de construction n'y influent pas.
2. « **V** » : zone d'influence de la vitesse d'air ; la vitesse de l'air exerce une action importante. Cette vitesse évite le phénomène d'humidification



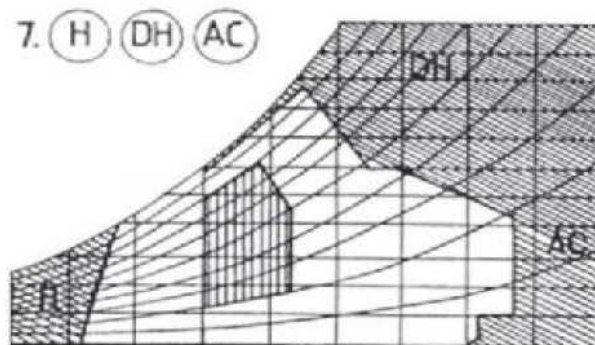
3. « **I et I'** » : double zone d'influence des inerties ; cette zone comprend deux sous zones, une à basses températures et une autre à hautes températures. Ces deux zones ont un effet important sur l'inertie des habitations.
4. « **VN** » : zone d'influence d'une ventilation nocturne importante liée à une forte inertie par absorption ; elle influence la ventilation et les caractéristiques de l'inertie des habitations.



5. « **RE** » : zone d'influence d'un refroidissement par évaporation ; zone où l'humidité a un important effet.
6. « **AS** » : zone d'influence de captage solaire passif ; zone de hautes températures où l'énergie solaire peut être captée à travers les baies vitrées.



7. « **H, DH, AC** » : zone d'obtention artificielle du confort thermique ; subdivisée en trois sous zones suivant le type du climat :
- Chaud et Humide « DH »** : zone de fortes humidités relatives ;
 - Chaud et Sec « AC »** : zone chaude et de faible humidité relative ;
 - Froid « H »** : zone froide.



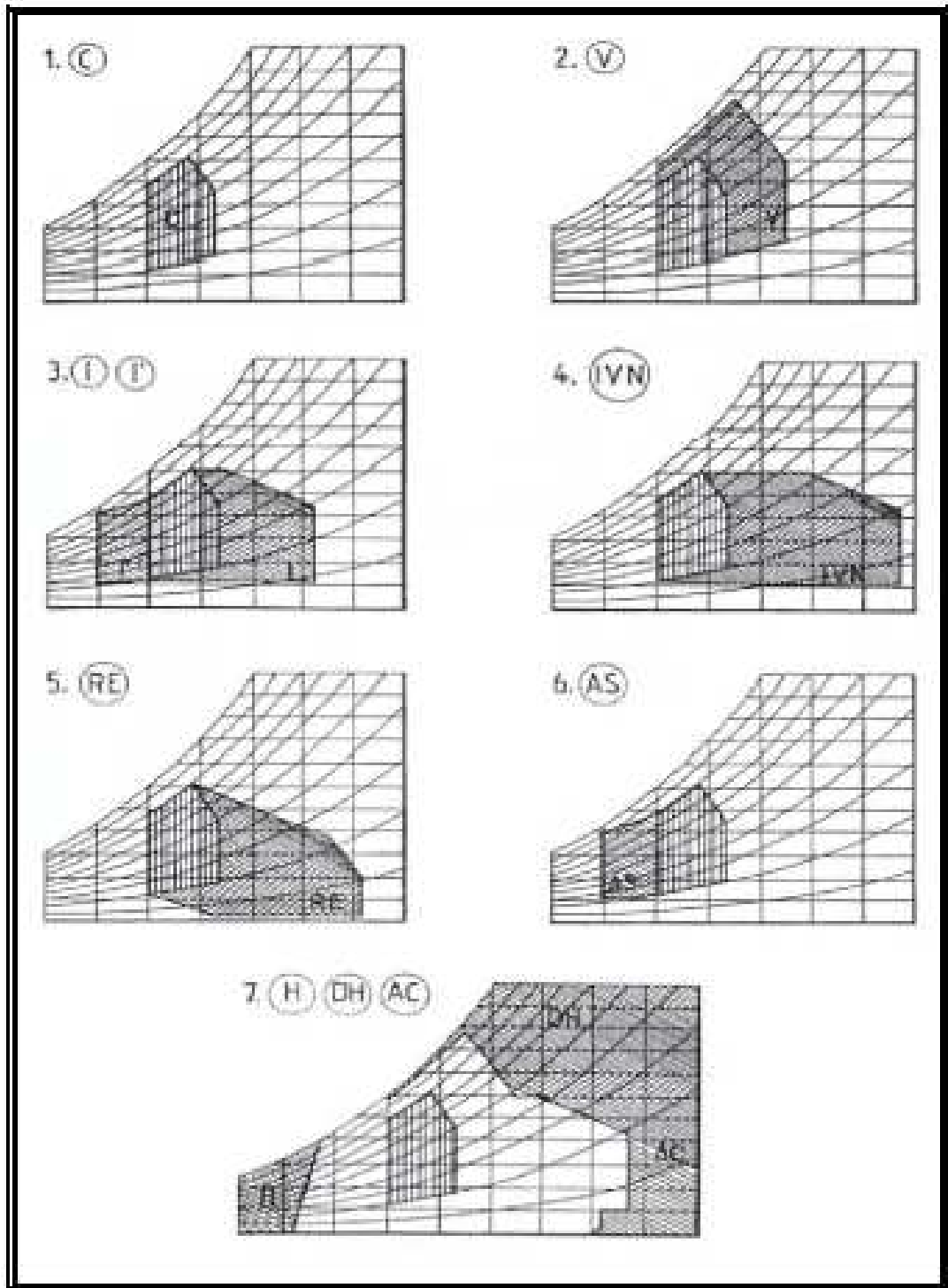


Figure 1.16 : récapitulation des zones d'influences établies par Givoni et Milné

Source : A. Chalet, P. Fernandez, P. Lavigne, 1998 - [3]

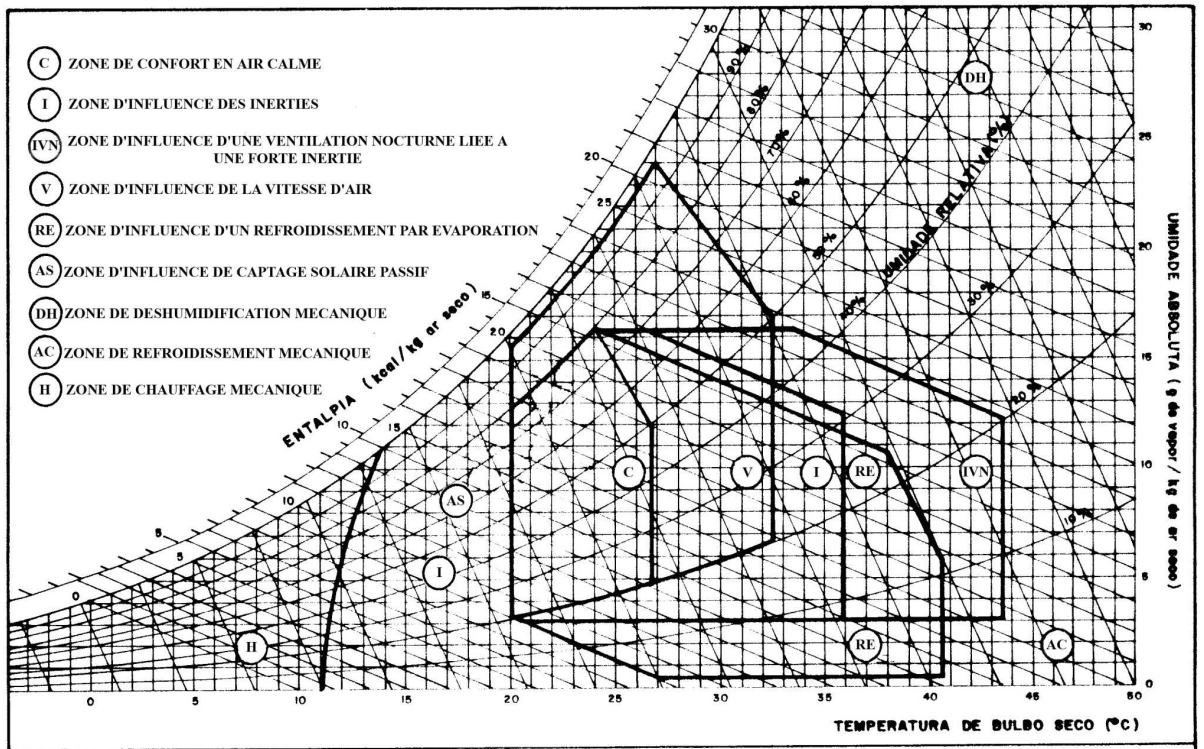


Figure 1.17 : diagramme bioclimatique de Givoni et Milné avec ses zones

La figure 1.18 montre les différentes zones d'un diagramme psychométrique.

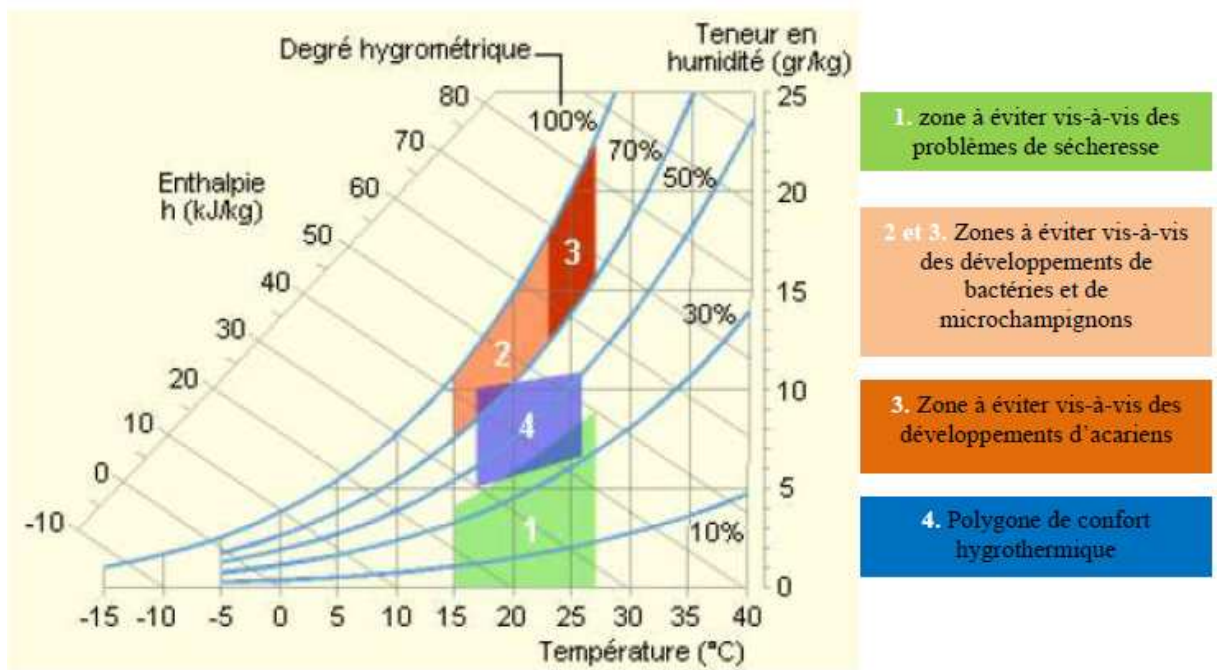


Figure 1.18 : différentes zones dans un diagramme psychométrique

Source : Energie+ - [6]

1.6 : Habitat et confort thermique:

1.6.1 : Contexte :

L'habitation et le confort thermique sont intimement liés dans le sens où le deuxième a tout son sens lorsqu'il se déroule dans le premier. La construction d'un logement reste une préoccupation majeure pour l'Homme. Elle doit satisfaire à deux exigences primordiales : la maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur et la garantie des ambiances intérieures saines et confortables.

Poussé par plusieurs raisons, l'Homme construit son habitat sans tenir compte de son passé relatif à la construction, un passé où l'harmonie entre l'être humain, la nature et sa culture était assurée, un passé qui prenait en considération l'aspect climatique du lieu.

Ainsi l'habitation perd sa valeur d'antan et le confort thermique dans les bâtiments n'est pas atteint ou l'est au détriment de la nature (car polluant l'environnement) et de l'énergie (car énergivore, les ressources énergétiques étant épuisables).

En conséquence des réponses doivent être apportées à l'habitation pour atteindre le confort thermique ; des solutions moins coûteuses, moins énergivores, moins dégradantes de l'environnement et dépendantes des aspects climatiques et des ressources renouvelables des lieux ; des solutions qualifiées de passives.

1.6.2 : Solutions proposées :

Les solutions dites passives à proposer sont fonctions des différents désagréments causant l'inconfort et suivant la saison. Elles doivent avoir comme objectifs une sensation de bien-être des occupants, un climat intérieur convenable à leurs besoins : le confort thermique.

Les conditions climatiques du lieu en question guident le choix des solutions. Et cela à partir de la conception technique du bâtiment : l'isolation thermique :

- Toiture : par exemple ; « toiture double peau à trame parallèle ». voir figure 1.19

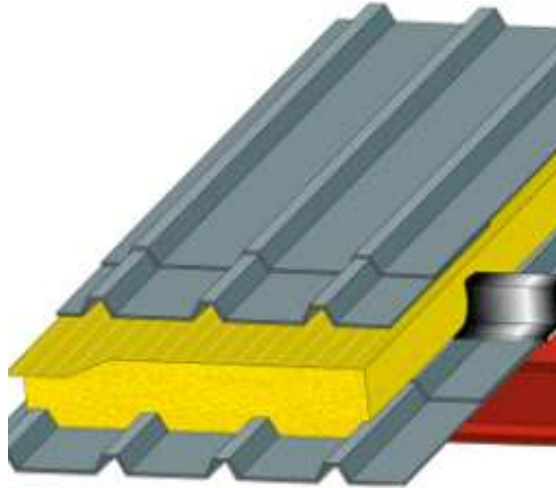
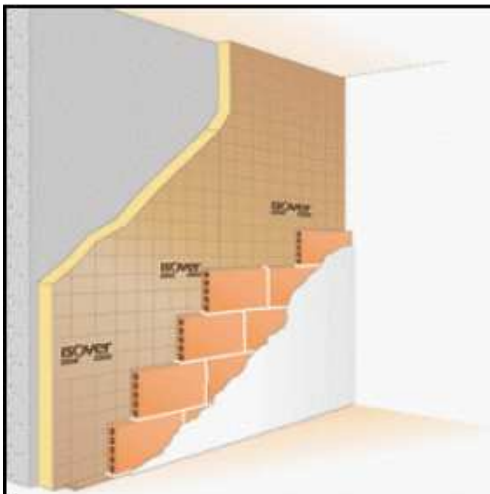


Figure 1.19 : toiture métallique ; toiture double peau à trame parallèle

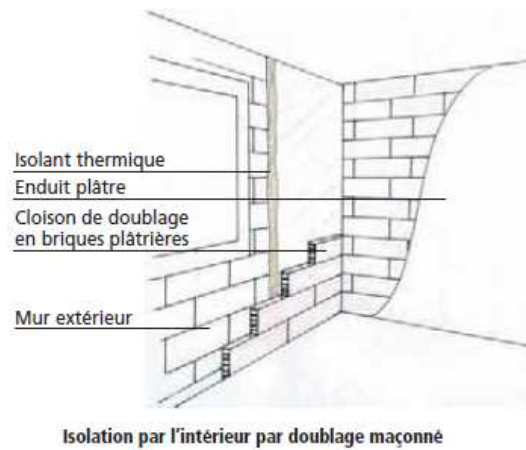
Source : [17]

- Murailles : par exemple ; composites à isolation par l'intérieur - à isolation par l'extérieur : utilisation du polystyrène, de la laine de verre de chanvre si possible des isolants de couches minces. Voir figures 1.20

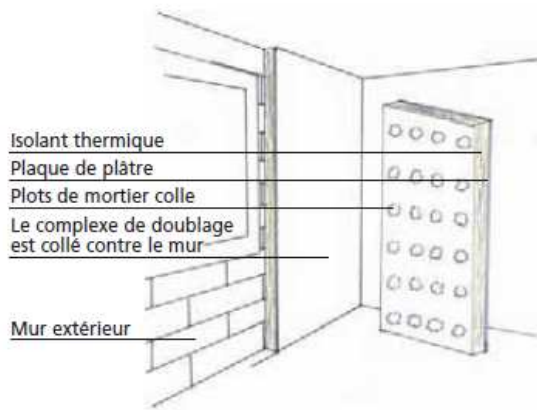
Figures 1.20 : isolation des murs composites :



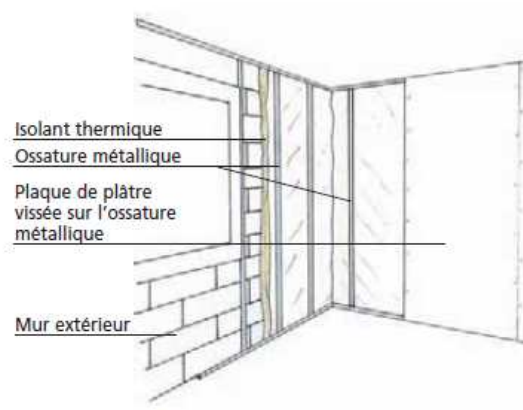
Source : [17]



Source : [15]



Isolation par l'intérieur par complexe collé



Isolation par l'intérieur par doublage sur ossature

Source : [15]

Source : [15]

- Cloisons et parois : par exemple ; isolation des parois opaques ; isolation thermique intérieure ou extérieure ; ouvertures et vitrages
- Plafond : par exemple ; isolation des faux plafonds, voir figure 1.21



Figure 1.21 : isolation des faux plafonds

Source : [17]

- Planchers : par exemple ; accrochage panneaux de laine, voir figure 1.21

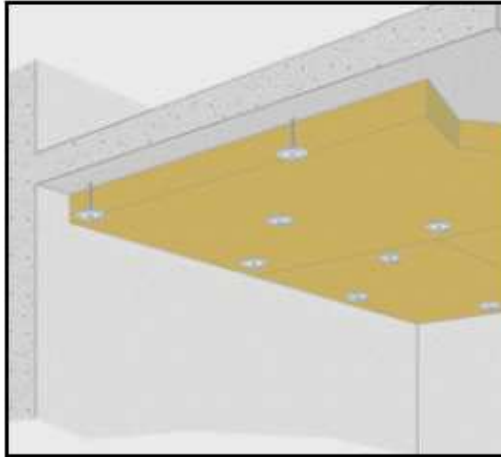


Figure 1.22 : accrochage des panneaux de laine

Source : [17]

Des stratégies sont également à adopter à travers les ouvertures (portes, fenêtres, trous d'aération) :

- la stratégie du chaud en hiver : elle consiste à capter la chaleur solaire à travers des baies vitrées des ouvertures, à la stocker dans le local, à la distribuer à l'intérieur, à la conserver pour enfin la restituer au besoin.
- la stratégie du froid en été : elle consiste à protéger le local de la chaleur solaire à travers les prolongements du bâtiment, à éviter la chaleur par des murs, à la dissiper à travers les ouvertures et trous, à rafraîchir le local par une ventilation naturelle, à la minimiser par un adoucissement.

L'aération rafraîchit les locaux et lutte contre l'humidité par le renouvellement d'air neuf.

L'ombrage et le mur 'végétal' contribuent également au rafraîchissement des locaux... voir figures 1.23 et 1.24.

Les solutions adoptées doivent s'adapter et répondre à l'inconfort constaté que ce soit en période estivale marquée par des températures élevées et en période hivernale indiquée par des températures basses.



Figure 1.23 : prolongement des toitures et ombrage par des arbres

Source : [4]



Figure 1.24 : mur 'végétal'

Source : [4]

CHAPITRE 2 : ANALYSE BIOCLIMATIQUE D'ANTANANARIVO

2.1 : Présentation de Madagascar

2.1.1 : Localisation de Madagascar :

L'île de Madagascar, située au sud de l'équateur, dans l'océan Indien, avec une superficie de 587 040 km² pour une population totale de 22 446 000 hab (estimation de 2012), est comprise entre 12° et 25,5° de latitude Sud et entre 43 et 50,6 °de longitude d'Ouest vers l'Est ; voir figure 2.1

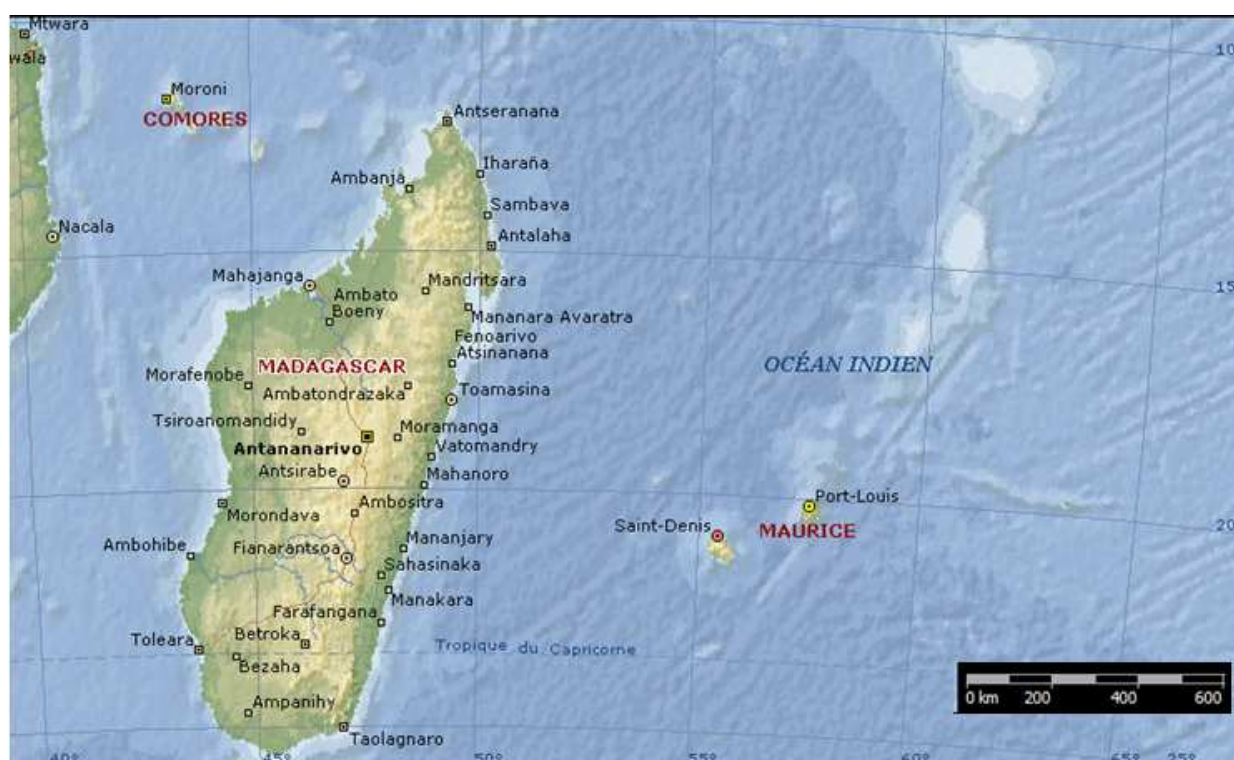


Figure 2 1: localisation de Madagascar

Source : Microsoft Encarta 2008.

2.1.2 : Climats de Madagascar :

Madagascar est découpé en six zones bioclimatiques dont les caractéristiques sont récapitulées dans le tableau 2.1 ci-dessous :

Tableau 2 1 : Caractéristiques des six zones bioclimatiques de Madagascar

Bio-climatic zones	Monthly mean temperature range	Monthly mean Rainfall	Altitude (m)
Warm and humid	20-25°C	>250mm	East coast (<300)
Hot summer and warm winter	25-30°C	100-125mm (summer) 0-10mm (winter)	West coast (<300) North (<300)
Hot summer and cool winter	20-30°C	90-100mm (summer) 0-10mm (winter)	South (<300) West slope (300-900)
Mild	19-22°C	150-200mm	East slope (300-900)
Temperate	15-20°C	100-125mm	Highland (900-1500)
Cold	5-15°C	125-150mm	(>1500)

Source : [12], [13]

2.2 : climat d'Antananarivo :

2.2.1 : Présentation :

Antananarivo, la capitale de Madagascar, situé dans le centre-est du pays, sur les Hautes Terres, sur le versant d'une colline à 1248 m au dessus de la mer, est le cœur économique, culturel et administratif du pays. La figure 2.2 montre la carte de la capitale Antananarivo.

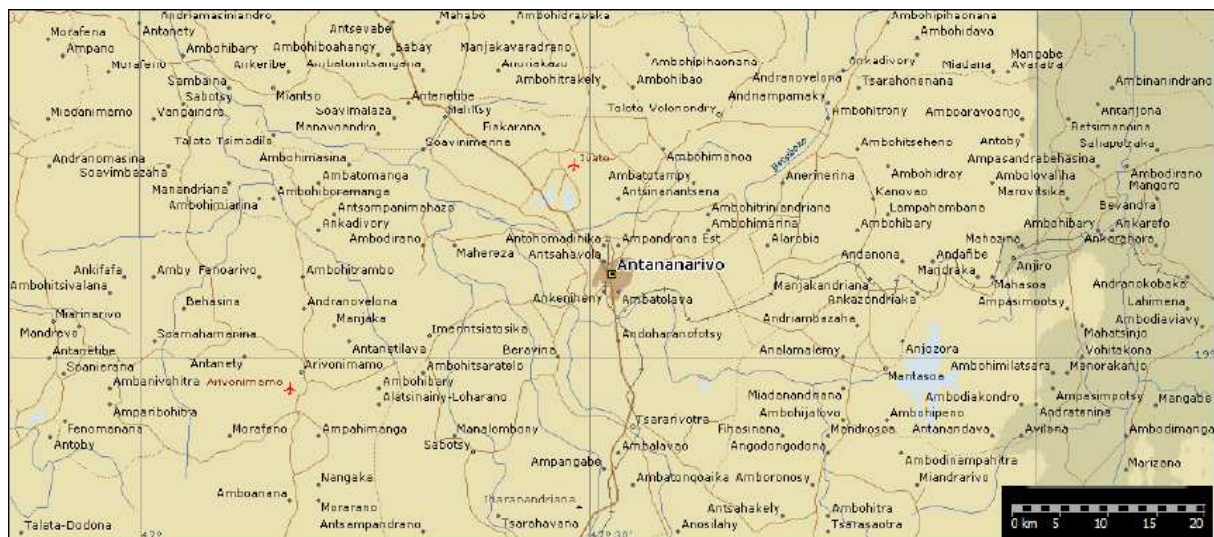


Figure 2 2: carte d'Antananarivo

Source : Microsoft Encarta 2008.

2.2.2 : Eléments climatiques d'Antananarivo :

2.2.2.1 : Saisons d'Antananarivo :

Antananarivo compte deux saisons principales bien distinctes englobant les quatre saisons ordinaires ;

- Saison chaude et pluvieuse combinant l'été et l'automne : été ; novembre, décembre et janvier et automne ; février, mars et avril.
- Saison sèche et fraîche englobant l'hiver et le printemps : hiver ; mai, juin et juillet et printemps ; août, septembre et octobre.

2.2.2.2 : Données météorologiques d'Antananarivo :

Afin de pouvoir faire une analyse bioclimatique sur Antananarivo, il est nécessaire d'avoir des données climatiques à savoir la température ambiante, l'humidité relative, les précipitations, l'ensoleillement et la vitesse du vent à Antananarivo.

Pour cela, nous nous sommes adressés à la direction météorologique d'Antananarivo où nous voulions avoir les données météorologiques des dix dernières années. Nous n'avions eu accès qu'à une partie des données des cinq dernières années (2009-2013) de façon entrecoupée à cause d'un incident au cours de cette période sans les valeurs de l'humidité relative, de l'ensoleillement et du vent.

Par ailleurs nous avons pu obtenir également les données climatologiques moyennes mensuelles des trente années successives (1961-1990).

En annexe 1, nous avons regroupé ces deux groupes de données en deux tableaux T1 et T3 ; T1 pour 'Données météorologiques moyennes mensuelles (2009-2013) d'Antananarivo' et T3 pour 'Données météorologiques moyennes mensuelles d'Antananarivo des trente années (1961-1990)'.

Nous avons aussi résumé en deux tableaux T2 et T4 les données mensuelles moyennes : T2 'Données météorologiques moyennes mensuelles d'Antananarivo (2009-2013) et T4 'Températures moyennes mensuelles des trente années successives (1961-1990) d'Antananarivo'.

Dans les tableaux suivants et dans la suite de ce chapitre ; les termes sous cités ont les significations mentionnées comme suit :

Tx : température maximale

Vit : vitesse

Tn : température minimale

°C : degré Celsius

Tmoy : température moyenne

mm : millimètre

Pr : précipitations

j : jour

Hr : humidité relative

h : heure

Insol : insolation

Nbre : nombre

2.2.2.3 : Analyse quantitative des données météorologiques d'Antananarivo :

Nous avons remarqué que les courbes relatives aux éléments climatiques en fonction des mois, des tableaux T2 et T3 en annexe 1, ont même allure. Donc les données de T3 en annexe 1 intitulé 'Données météorologiques moyennes mensuelles d'Antananarivo des trente années (1961-1990)' suffisent largement pour notre analyse climatique au niveau d'Antananarivo. Ces données comprennent aussi l'humidité relative, l'ensoleillement et les vitesses du vent et s'étalent sur trente ans successifs. Par suite les courbes des figures 2.3 à 2.7 sont obtenues à partir des données du tableau T3 en annexe 1 intitulé 'Données météorologiques moyennes mensuelles d'Antananarivo des trente années (1961-1990)'.

a. Température

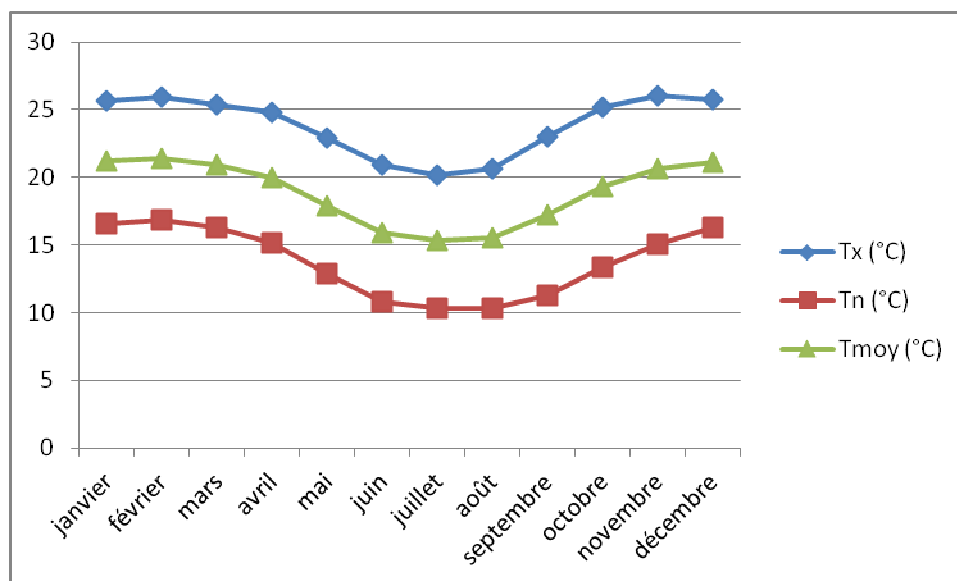


Figure 2 3: températures moyennes mensuelles d'Antananarivo

La courbe figure 2.3 des températures montre une valeur moyenne maximale de 26°C au mois de novembre.

La valeur minimale 10,3°C se situe au mois de juillet. La température moyenne annuelle ou température moyenne mensuelle est d'environ de 18,8°C.

On peut donc dire que les températures de la capitale Antananarivo se situent dans une fourchette de 10,3°C à 26°C.

b. Humidité relative

La courbe figure 2.4 des humidités relatives nous indique, de façon générale sur toute l'année, une humidité élevée avec un maximum de 81% en été et un minimum de 71% en octobre.

La valeur moyenne annuelle de 77,5% confirme l'hypothèse de cette humidité élevée dans la capitale.

Donc Antananarivo baigne dans une humidité relative élevée loin de l'intervalle de confort optimal [40% ; 60%].

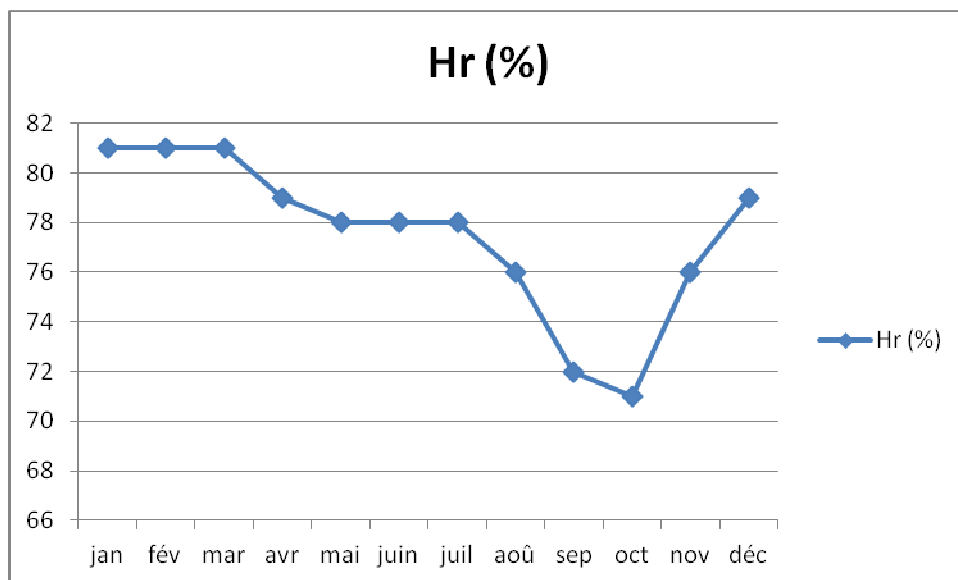


Figure 2 4: humidités relatives moyennes mensuelles d'Antananarivo

c. Précipitations

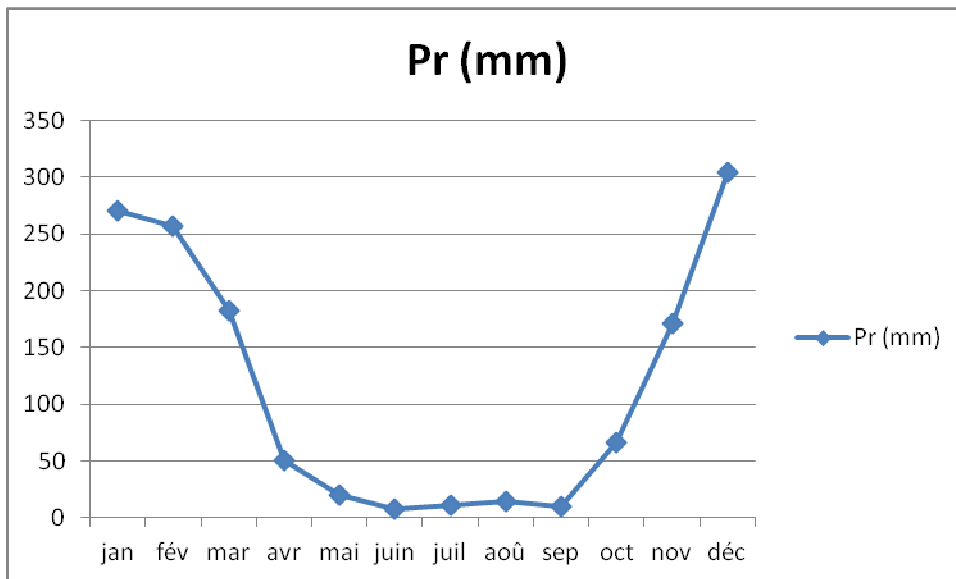


Figure 2.5 : précipitations moyennes mensuelles d'Antananarivo

La courbe figure 2.5 des précipitations présente un printemps et un été pluvieux puis un automne et un hiver secs.

Donc Antananarivo se distingue par ses deux principales saisons ; une première chaude et humide pluvieuse (printemps et été) et une deuxième froide et sèche (automne et hiver).

d. Insolation

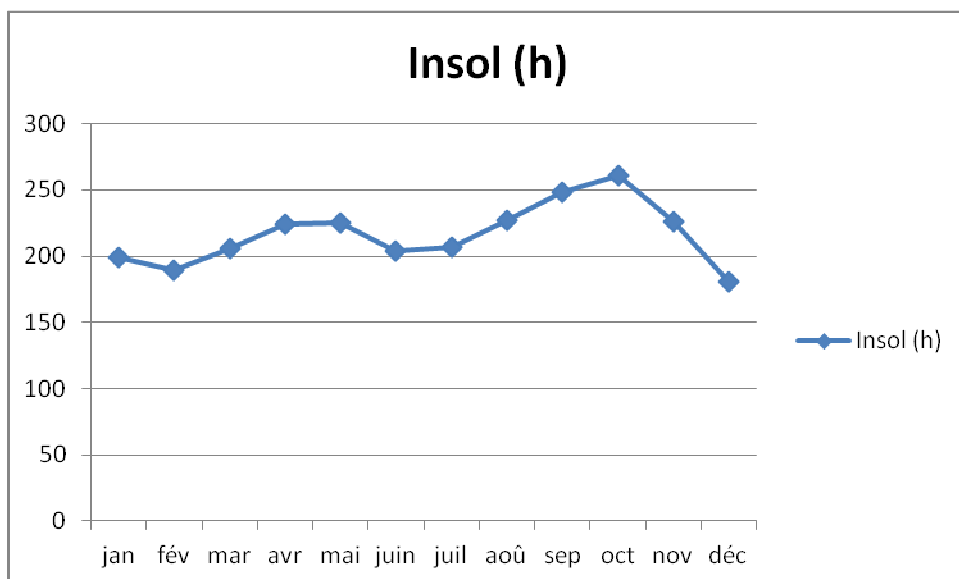


Figure 2 6 : insolation moyennes mensuelles d'Antananarivo

La courbe figure 2.6 de l'insolation montre un ensoleillement durant toute l'année avec des pics en octobre.

Par suite Antananarivo est exposé à un soleil durant toute l'année.

e. Vitesse des vents

La courbe figure 2.7 de la vitesse du vent indique un vent toute l'année avec un minimum seulement en avril.

Donc Antananarivo est balayé par des vents dont les vitesses supérieures à 1,4 m/s le situent loin du confort thermique par rapport au mouvement de l'air.

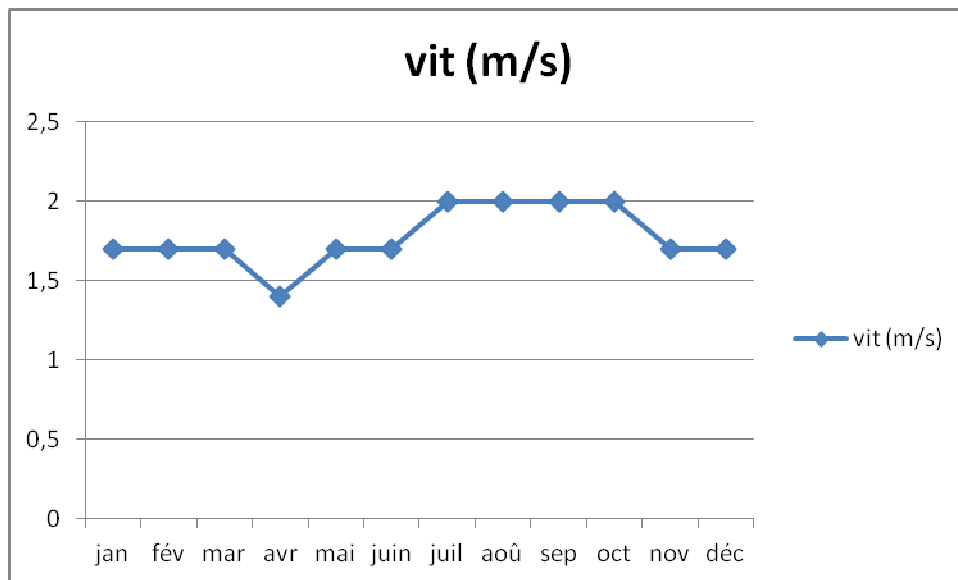


Figure 2 7 : vitesses moyennes mensuelles des vents d'Antananarivo

2.2.3 : Détermination du climat d'Antananarivo :

2.2.3.1 : Selon Köppen :

D'après le tableau T4 en annexe 1 intitulé 'Températures moyennes mensuelles des trente années successives (1961-1990) d'Antananarivo', le mois le plus chaud a une température maximum moyenne de 26 °C et le mois le plus froid une température minimum moyenne de 10,3 °C ; ce qui correspond pour Antananarivo à la 1^{ère} lettre C ; climat tempéré chaud.

Par ailleurs les précipitations du mois le plus sec de la période avril-septembre sont de 7,2 mm (mois de juin).

En conséquence le climat d'Antananarivo a le code Csa, un climat tempéré chaud.

2.2.3.2 : Selon De Martonne :

Les précipitations moyennes annuelles P sont de : 1365,3 mm

La température moyenne mensuelle T est d'environ 19°C ($\approx 18,8$ °C).

Donc l'indice d'aridité d'Antananarivo est de : $I_{DM} = \frac{P}{T+10} = \frac{1365,3}{18,8+10} = 47,4$

Par suite d'après la classification de De Martonne, le climat d'Antananarivo est un climat humide.

2.3 : Analyse bioclimatique d'Antanarivo :

2.3.1 : Résumé de l'analyse quantitative des données climatiques :

Résumons les résultats trouvés selon les éléments climatiques dans le tableau 2.2 suivant :

Tableau 2 2 : récapitulation de l'analyse bioclimatique sur Antananarivo

Périodes	Froide , fraîche et sèche	Chaude et pluvieuse
Mois	Mai, juin, juillet, août, septembre, octobre	Novembre, décembre, janvier, février, mars, avril
Températures	Basses entre 10,3°C et 15,2°C	Hautes de 25,4°C à 26°C
Humidités relatives	Elevées entre 72% à 79%	élevées entre 71% et 81%
Précipitations	Faibles ou sèches : 7,2 à 50,5 mm	Denses intenses > 160 mm
Ensoleillement	Presque constant toute l'année dans [180 h ; 260 h]	
Vents	Presque constant toute l'année dans [1,4 m/s ; 2 m/s]	

2.3.2 : Analyse bioclimatique selon le diagramme de Givoni :

Nous allons utiliser le diagramme de Givoni pour notre analyse :

Pour ce faire, plaçons dans le diagramme psychométrique figure 2.8, les points (températures moyennes et humidité relative) du tableau 2.3.

Tableau 2 3 : points (température moyenne mensuelle ; humidité relative moyenne mensuelle)

Mois	Janv	février	Mars	Avril	Mai	juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Tmoy (°C)	21,2	21,4	20,9	20	17,9	15,9	15,3	15,5	17,2	19,3	20,6	21,1
Hr (%)	81	81	81	79	78	78	78	76	72	71	76	79
Points												

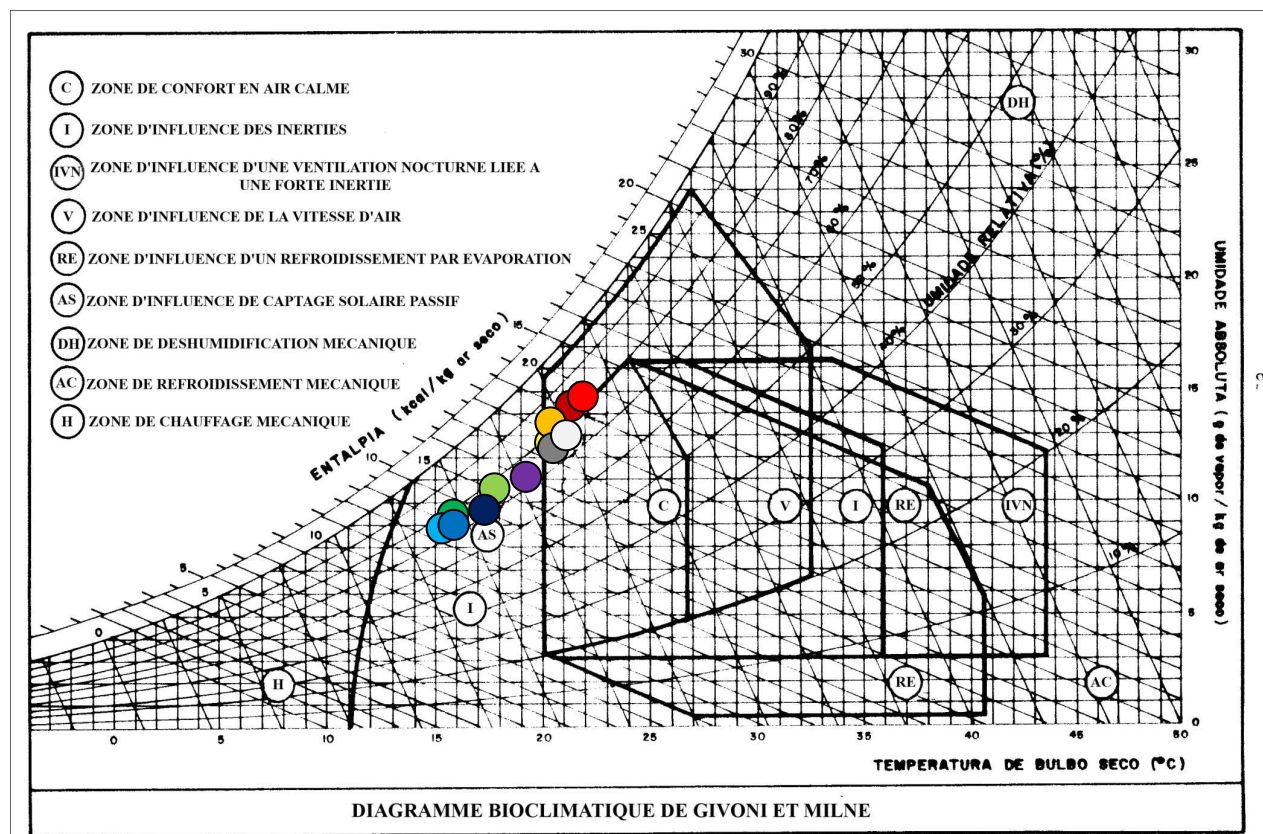


Figure 2. 8 : site d'Antananarivo sur le diagramme bioclimatique de Givoni

Durant les mois de mai à octobre, la capitale est dans la zone d'influence de captage solaire, c'est-à-dire \Rightarrow **double zone d'influence des inerties.**

Durant les mois novembre à avril, la capitale est dans la limite de la zone de confort thermique avec un gros penchant dans la zone d'influence de la vitesse d'air c'est-à-dire
⇒ **zone d'influence de la vitesse d'air.**

2.3.3 : Solutions passives proposées :

Période froide, fraîche et sèche : de mai à octobre la capitale est dans la **zone d'influence des inerties** : un choix convenable des matériaux de construction des bâtiments pouvant inclure la stratégie du chaud en hiver, le puits canadien permettraient de pallier l'inconfort de cette période de fraîcheur.

Période chaude et pluvieuse : de novembre à avril, la capitale est dans la **zone d'influence de la vitesse d'air** : un choix adéquat des matériaux de construction, la stratégie du froid en été, une action sur les ouvertures ainsi que l'ombrage bien adapté seraient des solutions plausibles pour atteindre le confort durant cette période de chaleur et de pluies.

2.3.4 : Conclusion :

Les données climatiques mensuelles d'Antananarivo, placées dans le diagramme bioclimatique de Givoni, ont fait apparaître que Antananarivo se place dans la zone de confort thermique (trois mois) et deux zones de conditions supportables ; celle **d'influence des inerties** (six mois) et l'autre **d'influence de la vitesse d'air** (trois mois). Le choix des matériaux de construction, les stratégies de l'hiver en été et du chaud en hiver, le puits canadien, une action sur les ouvertures, l'ombrage seraient des solutions passives crédibles à adopter pour avoir le confort thermique quelque soit la période.

CHAPITRE 3 : SIMULATION DE L'HABITATION

3.1 Introduction :

Les paramètres climatiques de l'ambiance interne d'une habitation déterminent le confort thermique du bâtiment. Il est donc important de pouvoir en déterminer l'évolution. A défaut de pouvoir les mesurer expérimentalement, on passe par des simulations numériques.

Le but d'une simulation numérique du confort thermique d'une habitation est de pouvoir prédire le comportement de ses paramètres de confort.

3.2 Méthode - Principe :

La prédiction du comportement thermique d'une habitation ou la simulation repose sur la méthodologie suivante :

- modéliser un type d'habitat :
 - localiser la région,
 - proposer un type d'habitat,
 - insérer les paramètres de confort thermique.
- faire la simulation du comportement de cet habitat type :
 - lancer la simulation,
 - recueillir les résultats,
 - exploiter les résultats et évaluer le comportement thermique du type d'habitat
- améliorer le comportement thermique du type d'habitat :
 - proposer des solutions passives à partir du comportement thermique,
 - faire la simulation du comportement thermique du bâtiment amélioré

Les solutions passives proposées serviront pour la réhabilitation des constructions existantes et pour les futures constructions.

3.3 Outil utilisé :

Pour faire la simulation, on se sert d'un logiciel de simulation du confort thermique. le logiciel le plus utilisé dans le monde est l'EnergyPlus. Ce dernier nécessite un logiciel de

modélisation du bâtiment. A cet effet une panoplie de logiciels, parmi lesquels Autocad, Codyba, Codyrun, DesignBuilder, se présente.

Nous allons utiliser DesignBuilder pour la modélisation de notre type d'habitat.

Ainsi, deux fichiers d'entrée sont indispensables ; un fichier météo de la zone et un autre du type conception du bâtiment.

Les deux fichiers d'entrée :

- La description du bâtiment (fichier *.dsb ou *.idf ou équivalent),
- La météorologie du site (fichier *.epw).

Une fois que les deux fichiers d'entrée sont créés et introduits dans DesignBuilder, la modélisation effectuée, EnergyPlus se charge du reste en lisant les fichiers d'entrée, en faisant le traitement de confort thermique nécessaire et en produisant des fichiers de sortie.

Parmi les fichiers de sortie ou les résultats de la simulation citons :

- Les températures ambiantes, radiantes et opératives à l'intérieur du bâtiment
- L'humidité relative à l'intérieur du bâtiment,
- La température extérieure du bâtiment,
- La consommation énergétique.

La figure 3.1 suivante schématise la procédure de la simulation d'EnergyPlus.

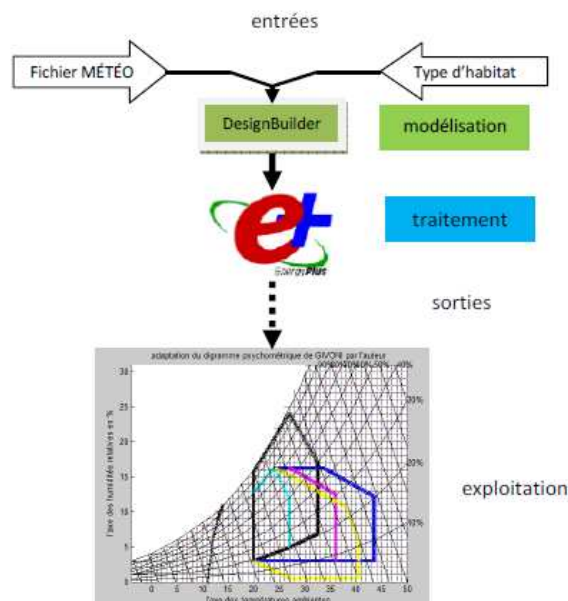


Figure 3. 1 : Les grandes lignes de procédure de l'outil EnergyPlus

Fichier Météorologique (*.epw)

Le fichier météo est celui utilisé pendant la simulation pour la région de la localisation ; il est du type « *.epw ».

Fichier de description (*.dsb)

Le fichier de description du bâtiment est un fichier issu de la modélisation. L'utilisateur fournit les indications nécessaires pour la modélisation : les paramètres de localisation de la région, la géométrie du type d'habitat, les matériaux mis en œuvre, les charges internes, les caractéristiques des ouvertures, les systèmes de traitement d'air.

3.3.1. DesignBuilder

DesignBuilder est un logiciel facile à employer pour la modélisation des bâtiments. Il sert également à la modélisation thermique des bâtiments. Comportant plusieurs paramètres de performance de l'environnement tels les températures maximales d'été, il peut servir à :

- donner plusieurs résultats parmi lesquels la visualisation des plans d'implantation, des habitations, des ombres portées par le soleil dans la journée,
- être le support de communication de conception du bâtiment, l'outil pédagogique d'enseignement
- une simulation thermique du bâtiment.

3.3.2. EnergyPlus

EnergyPlus est un programme autonome de simulation sans interface graphique ' facile à utiliser ', un programme d'évaluation de la performance thermique d'un bâtiment.

EnergyPlus est étroitement intégré dans l'environnement de DesignBuilder pour permettre à l'utilisateur d'effectuer des simulations ; ainsi DesignBuilder utilise le moteur de simulation dynamique EnergyPlus pour simuler la performance thermique du bâtiment.

3.4 Modélisation du bâtiment et simulation :

Pour la modélisation, nous allons utiliser DesignBuilder V.2.0.5.015. intégrant le logiciel EnergyPlus V.3.1 pour la simulation.

a) **Localisation du site :**

La localisation du site et ses caractéristiques sont groupés dans le tableau 3.1

Tableau 3 1 : caractéristiques du site

Prédéfnition	ANTANANARIVO/IVATO											
Altitude (m) :	1276											
Latitude (°) :	-18,80											
Longitude (°) :	47,48											
Températures mensuelles :												
Mois	Janv	février	Mars	Avril	Mai	juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Tmoy (°C)	21,2	21,4	20,9	20	17,9	15,9	15,3	15,5	17,2	19,3	20,6	21,1
Précipitation annuelle nominale (m)	1,3650											
Données météo horaires	MDG_ANTANANARIVO_IWEC											
Température extérieure de conception (hiver) (°C)	10.3											
Vitesse du vent (m/s)	2,0											
Température sèche max (°C)	26,0											
Température sèche min (°C)	25,4											

b) **Plan du bâtiment :**

Le bâtiment à étudier, voir figure 3.2, est une habitation composée de :

- de 3 chambres à coucher : CH3 de 8,91 m², CH2 de 10,53 m² et CH1 de 8,82 m²,
- d'une salle de séjour avec un coin repas de 14,12 m²,
- d'une cuisine de 8,18 m², d'une salle d'eau de 4,40 m² et d'un W.C. de 2,20 m²,
- d'une cour de passage de 4,19 m², d'un dégagement de 7,29 m² et d'une véranda de 16,42 m².

Il se subdivise en six (6) zones suivantes :

- Zone 1 : la chambre CH1,
- Zone 2 : la chambre CH2,
- Zone 3 : la chambre CH3,
- Zone 4 : l'ensemble cuisine, séjour, coin repas, cour de passage, dégagement,
- Zone 5 : salle d'eau,
- Zone 6 : les toilettes W.C.

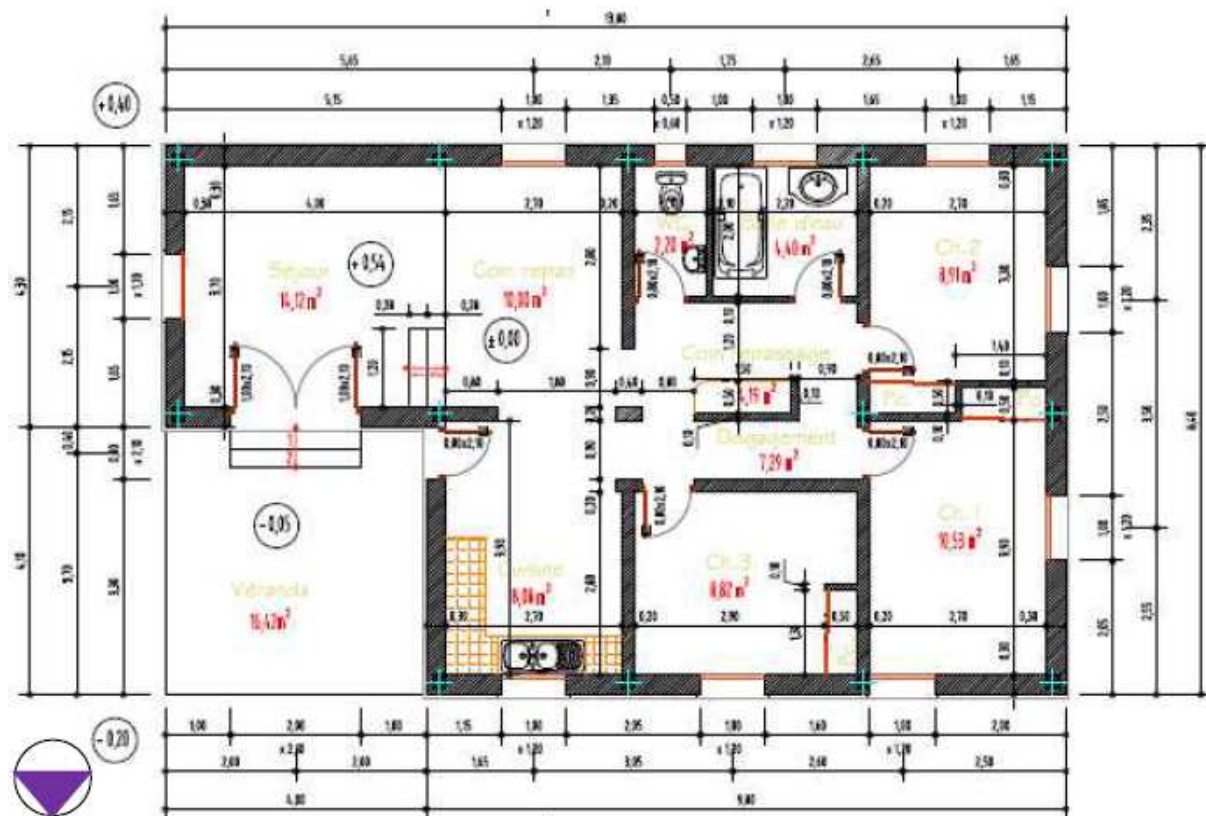


Figure 3. 2 : Le plan de l'habitat à modéliser

c) Activités :

1. Type de zone :

Les zones sont standards : considérées comme occupées, chauffées ou rafraîchies.

2. Occupation :

Les données d'occupation définissent le nombre de personnes présentes et les heures d'occupation.

Le bâtiment à modéliser est habité par une famille composée des deux parents et de leurs deux enfants ; les deux adultes pour la chambre CH3, les enfants pour CH1 et CH2.

Il est occupé tous les jours selon le planning suivant : de 00h à 07h – de 12h à 14h et de 18h à 00h, et cela 7j/7.

Et la densité est répartie selon le tableau 3.2.

Tableau 3 2: L'occupation (calcul de la densité)

Salle	Superficie (m ²)	nombre de personnes	Densité (pers/m ²)
zone 1	8,82	1	0,11
zone 2	10,53	1	0,09
zone 3	8,91	2	0,22
zone 4	33,78	4	0,12
zone 5	4,4	1	0,23
zone 6	2,2	1	0,45

3. Métabolisme :

Le niveau métabolique détermine la quantité de chaleur émise par personne dans la zone aux conditions de conception.

Le bâtiment étant utilisé comme une salle d'habitation, le facteur métabolique prend en compte des personnes de tailles variées. Le facteur est égal à 1 pour les hommes adultes, 0,85 pour les femmes adultes et 0,75 pour les enfants. Il vaut une valeur moyenne si la population est un mélange de tailles.

Tableau 3 3: calcul du métabolisme

Zone	Homme	Femme	Enfant	Met
zone 1	0	0	1	0,75
zone 2	0	0	1	0,75
zone 3	1	1	0	0,93
zone 4	1	1	2	0,84
Zone 5	1	1	2	0,84
Zone 6	1	1	2	0,84

Pour déterminer le facteur métabolique pour tout l'ensemble des occupants, on effectue la moyenne des facteurs. Ainsi le facteur métabolique pour l'ensemble est 0,84 Mét

4. Contrôle d'ambiance :

Le bâtiment n'est pas chauffé ni climatisé. Il n'est pas équipé de système de ventilation mécanique et la ventilation naturelle est libre.

d) **Construction :**

Les éléments, définissant la construction, sont composés des couches de matériaux. Ces matériaux sont caractérisés par leurs propriétés générales ; conductivité thermique, chaleur spécifique et volume massique.

1. Murs :

Les murs externes et internes sont constitués des couches selon le tableau 3.4 suivant

Tableau 3 4 : caractéristiques des murs et cloisons, bâtiment de base

Composants	Couches	Epaisseur [m]	Conductivité [W/Km ²]	Chaleur spécifique [J/kg.K]	Masse volumique [kg/m ³]
Murs externes	Enduit de ciment	0,050			
	Brique de Mada	0,200	0,69	950	1500
	Enduit de ciment	0,050			
Cloisons 1	Enduit de ciment	0,000			
	Brique de Mada	0,200	0,69	950	1500
	Enduit de ciment	0,000			
Cloisons 2 pour les placards	Enduit de ciment	0,000			
	Brique de Mada	0,100	0,69	950	1500
	Enduit de ciment	0,000			

2. Toits/planchers/plafonds :

Tableau 3 5 : caractéristiques des toits, planchers, plafonds

Composants	Couches	Epaisseur [m]	Conductivité [W/Km ²]	Chaleur spécifique [J/kg.K]	Masse volumique [kg/m ³]
Toit	Tôle mécanique	0,001	50	450	7500
	Latte 30x20 en bois	0,010	0,14	1200	650
	Chevron 40x60 en bois	0,010	0,14	1200	650
	Panne 70x170 en bois	0,010	0,14	1200	650

Planchers bas sur terrain	Moellon				
	Béton de propriété	0,050	1,3	1000	1800
Plafond	Polystyrène	0,050	0,034	1400	35
	Bois	0,010	0,14	1200	650
Plancher	Carreaux	0,005	1,3	840	2300
	Béton en forme	0,070	0,14	1200	650
	Hérisonage	0,120			

3. Portes :

Les portes extérieures et intérieures sont construites en bois.

Tableau 3 6 : caractéristiques des portes

Composants	Couches/dimensions	Epaisseur [m]	Conductivité [W/Km ²]	Chaleur spécifique [J/kg.K]	Masse volumique [kg/m ³]
Portes extérieures	Bois 2x1,20	0,020	0,14	1200	650
	Bois 0,8x1,20	0,020	0,14	1200	650
Portes intérieures	Bois 0,8x1,20	0,020	0,14	1200	650

e) Ouvertures :

Les ouvertures, comprenant les aérations et les fenêtres, comportent toutes des cadres ou/et des vitrages.

Tableau 3 7 : caractéristiques des fenêtres

Composants	Couches	Epaisseur [m]	Conductivité [W/Km ²]	Chaleur spécifique [J/kg.K]	Masse volumique [kg/m ³]
Cadre de fenêtres	Bois	0,010	0,14	1200	650
Fenêtres	Bois	0,020	0,14	1200	650

Tableau 3 8 : Caractéristiques des vitres, bâtiment de base

Prédéfinition		Single glazing, clear, no shading
Fenêtres externes	Type de vitrage	Sgl Clr 6mm
	Couches	Nombre de couches : 1
	La vitre la plus externe	Type : Generic CLEAR 6MM

Source : DesignBuilder

3.5 Résultats et discussions :

Nous allons nous intéresser aux résultats issus de la simulation des zones où l'Homme passe quotidiennement la majorité de son temps dans le bâtiment, les zones 1 à 4.

En annexe 1, nous avons des extraits des résultats des données quotidiennes relatives à la température ambiante et à l'humidité relative de chaque zone de l'habitation.

Nous plaçons les couples (température ambiante T_{air} ; humidité relative H_r) de chaque zone dans le diagramme psychométrique de Givoni pour avoir le comportement thermique ; le diagramme de la figure 3.3 est une adaptation par l'auteur du diagramme de Givoni.

Nous y indiquons le comportement thermique des périodes estivale et hivernale.

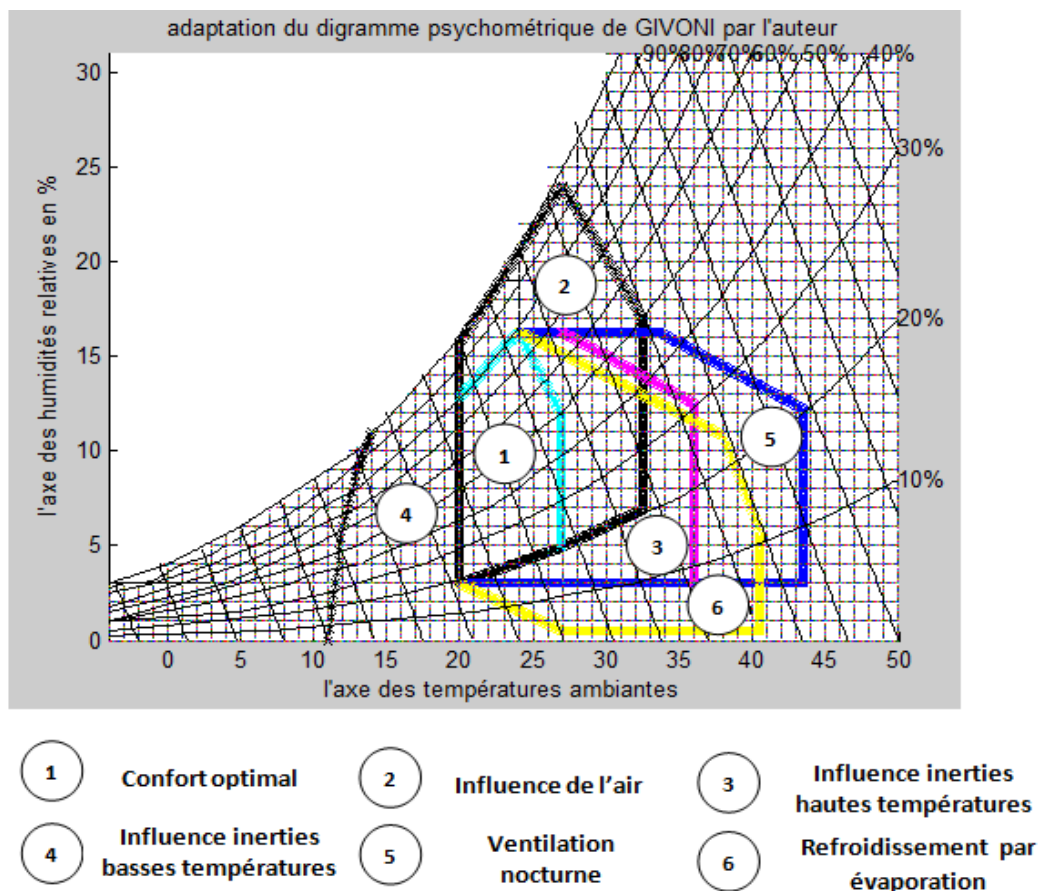
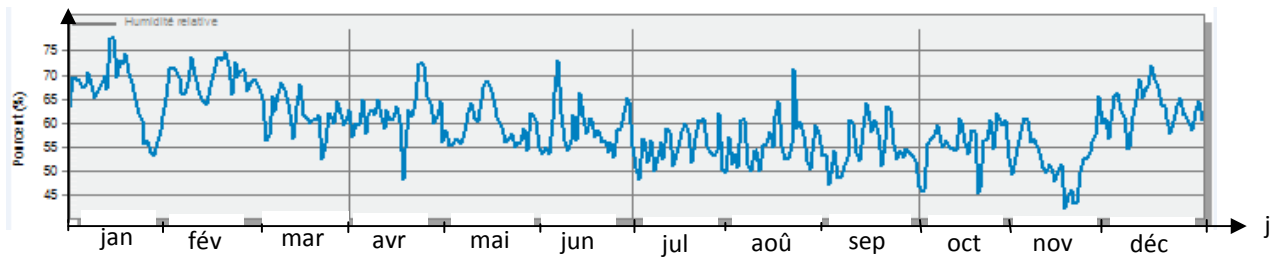


Figure 3. 3: zones de confort dans le diagramme psychométrique de Givoni

3.5.1 : Résultats :

Zone 1 :

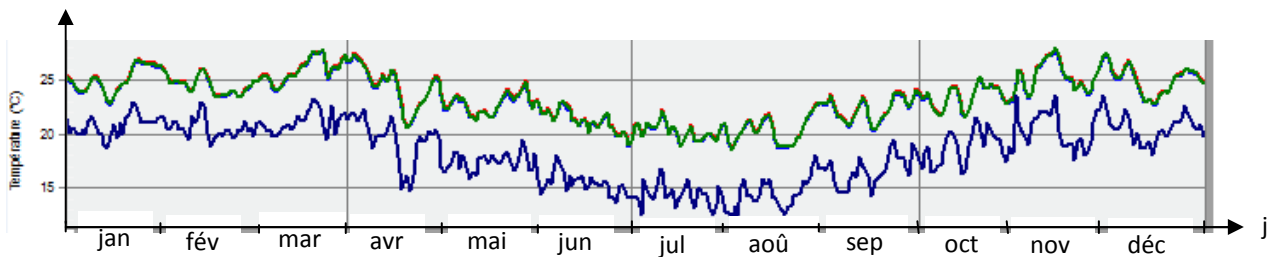
Période annuelle :



Humidités relatives quotidiennes

Figure 3. 4: courbes des humidités relatives moyennes quotidiennes de CH1

Source : EnergyPlus

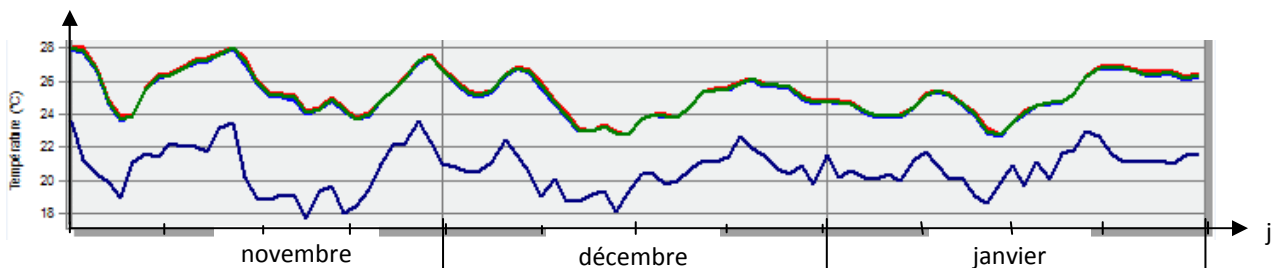


La première courbe multicolore est la confusion des courbes des températures ambiantes, radiantes et opératives quotidiennes et la deuxième courbe en bleu est celle des températures sèches extérieures quotidiennes

Figure 3. 5: courbes des températures moyennes quotidiennes de CH1

Source : EnergyPlus

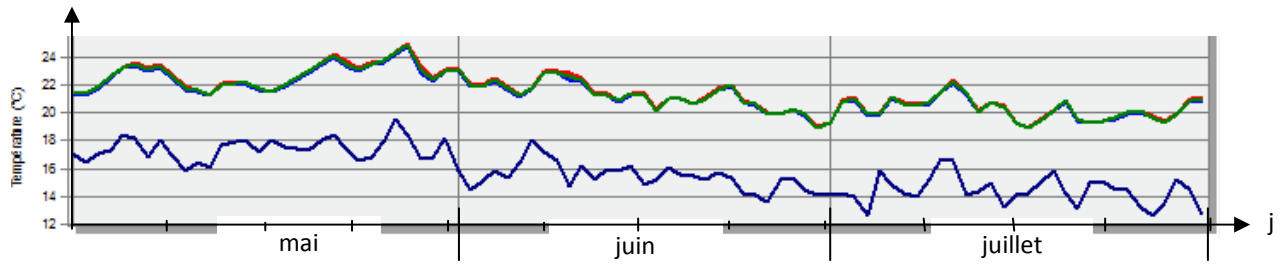
Périodes estivale et hivernale :



La première courbe multicolore est la confusion des courbes des températures ambiantes, radiantes et opératives quotidiennes et la deuxième courbe en bleu est celle des températures sèches extérieures quotidiennes

Figure 3. 6: courbes des températures moyennes quotidiennes de CH1 durant l'été

Source : EnergyPlus



La première courbe multicolore est la confusion des courbes des températures ambiantes, radiantes et opératives quotidiennes et la deuxième courbe en bleu est celle des températures sèches extérieures quotidiennes
Figure 3. 7: courbes des températures moyennes quotidiennes de CH1 durant l'hiver

Source : EnergyPlus

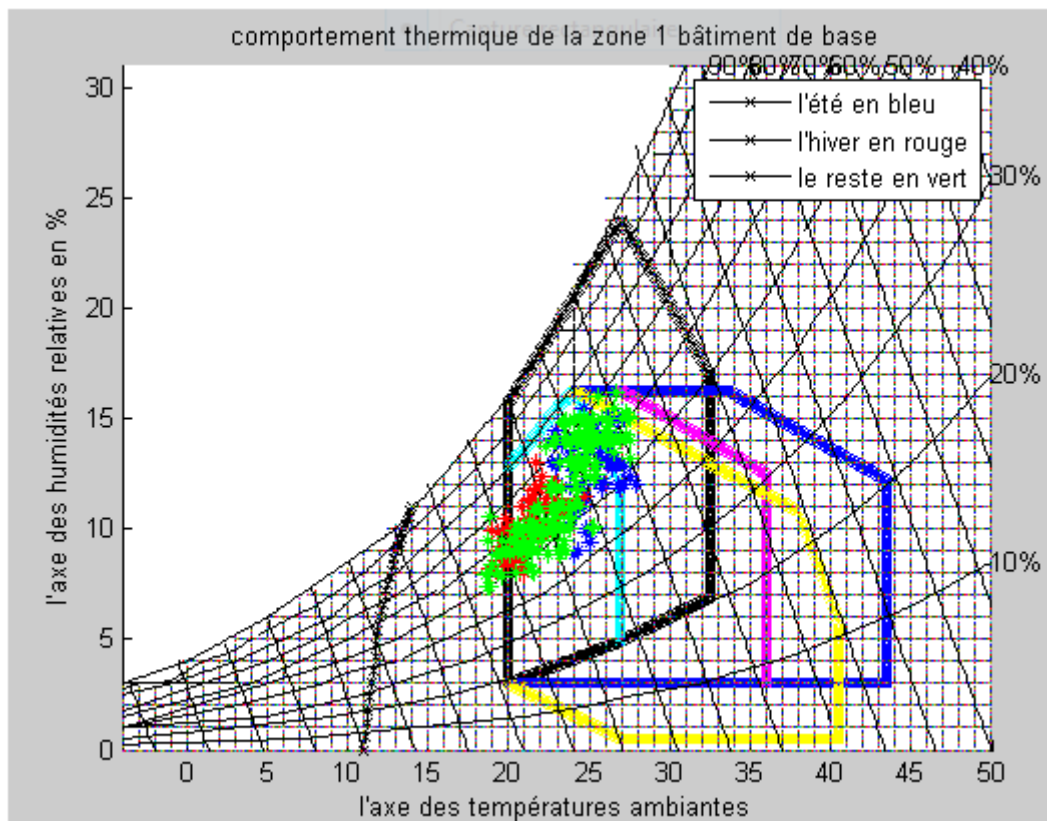
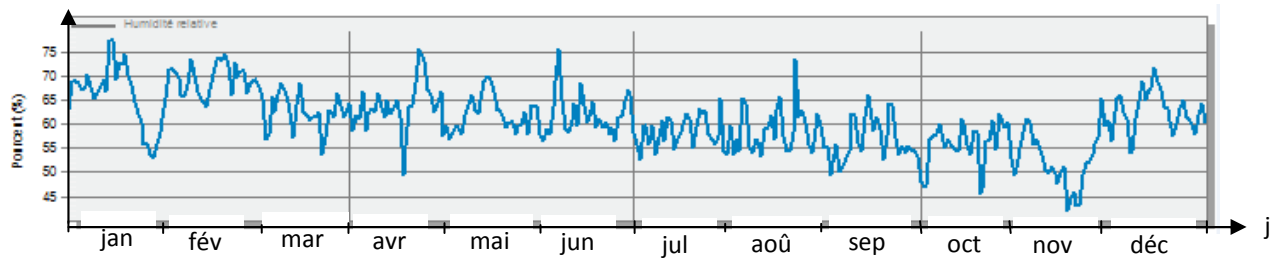


Figure 3. 8: la zone 1 dans le diagramme bioclimatique de Givoni, bâtiment de base

Zone 2 :

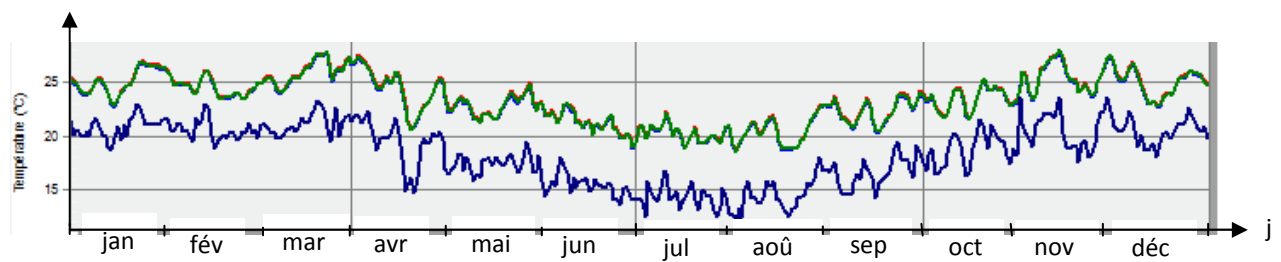
Période annuelle :



Humidités relatives quotidiennes

Figure 3. 9: courbes des humidités relatives moyennes quotidiennes de CH2

Source : EnergyPlus

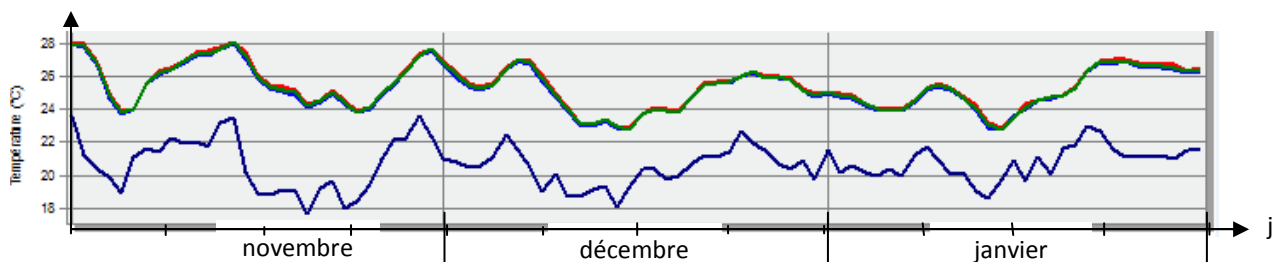


La première courbe multicolore est la confusion des courbes des températures ambiantes, radiantes et opératives quotidiennes et la deuxième courbe en bleu est celle des températures sèches extérieures quotidiennes

Figure 3. 10: courbes des températures moyennes quotidiennes de CH2

Source : EnergyPlus

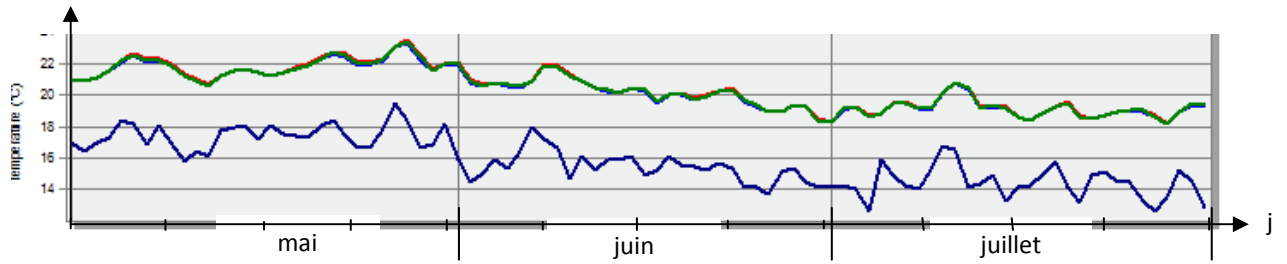
Périodes estivale et hivernale :



La première courbe multicolore est la confusion des courbes des températures ambiantes, radiantes et opératives quotidiennes et la deuxième courbe en bleu est celle des températures sèches extérieures quotidiennes

Figure 3. 11: courbes des températures moyennes quotidiennes de CH2 durant l'été

Source : EnergyPlus



La première courbe multicolore est la confusion des courbes des températures ambiantes, radiantes et opératives quotidiennes et la deuxième courbe en bleu est celle des températures sèches extérieures quotidiennes

Figure 3. 12: courbes des températures moyennes quotidiennes de CH2 durant l'hiver

Source : EnergyPlus

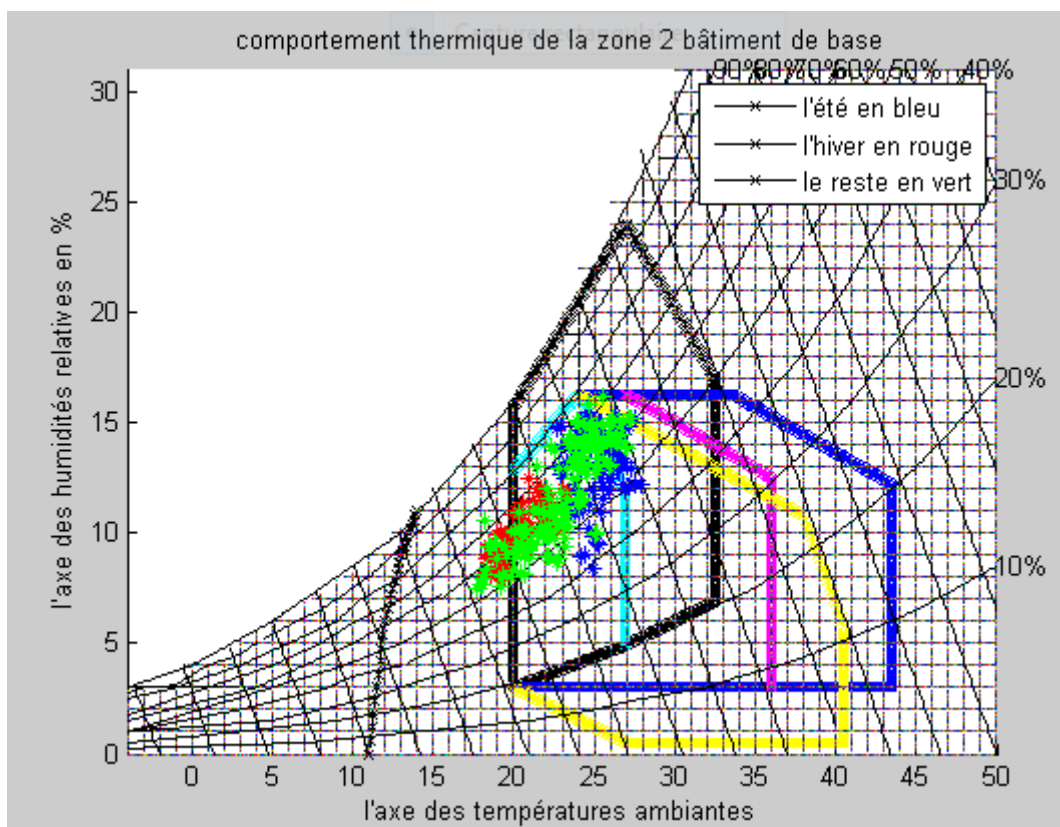
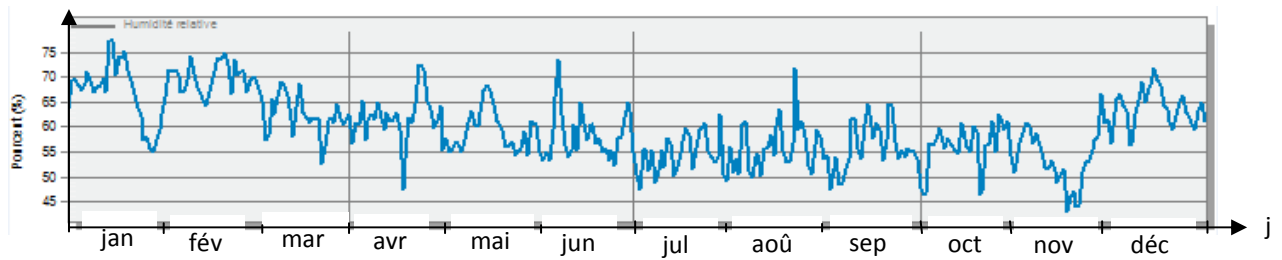


Figure 3. 13: la zone 2 dans le diagramme bioclimatique de Givoni, bâtiment de base

Zone 3 :

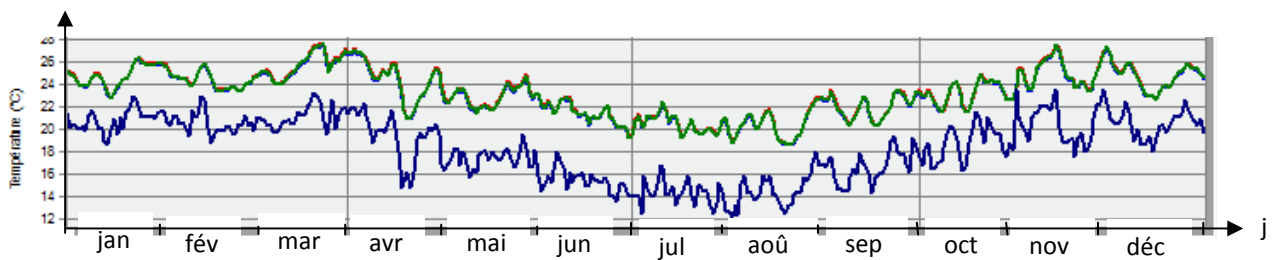
Période annuelle :



Humidités relatives quotidiennes

Figure 3. 14: courbes des humidités relatives moyennes quotidiennes de CH3

Source : EnergyPlus –

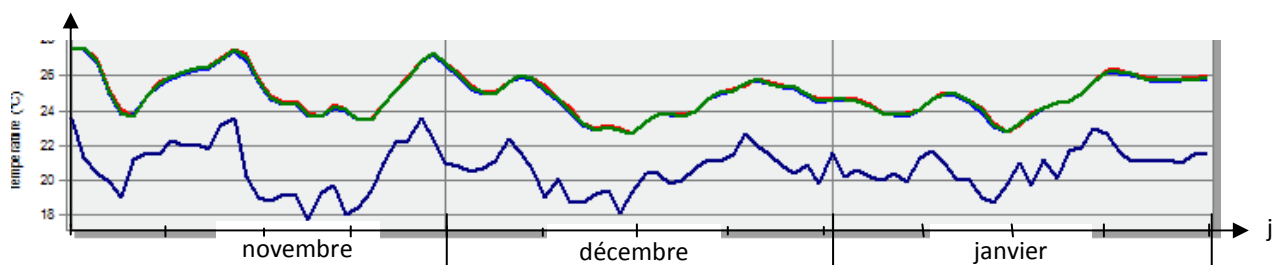


La première courbe multicolore est la confusion des courbes des températures ambiantes, radiantes et opératives quotidiennes et la deuxième courbe en bleu est celle des températures sèches extérieures quotidiennes

Figure 3. 15: courbes des températures moyennes quotidiennes de CH3

Source : EnergyPlus

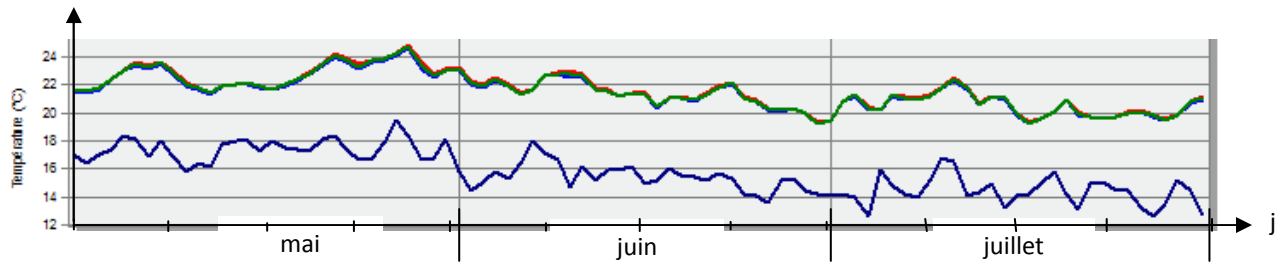
Périodes estivale et hivernale :



La première courbe multicolore est la confusion des courbes des températures ambiantes, radiantes et opératives quotidiennes et la deuxième courbe en bleu est celle des températures sèches extérieures quotidiennes

Figure 3. 16: courbes des températures moyennes quotidiennes de CH3 durant l'été

Source : EnergyPlus



La première courbe multicolore est la confusion des courbes des températures ambiantes, radiantes et opératives quotidiennes et la deuxième courbe en bleu est celle des températures sèches extérieures quotidiennes
Figure 3. 17: courbes des températures moyennes quotidiennes de CH3 durant l'hiver

Source : EnergyPlus

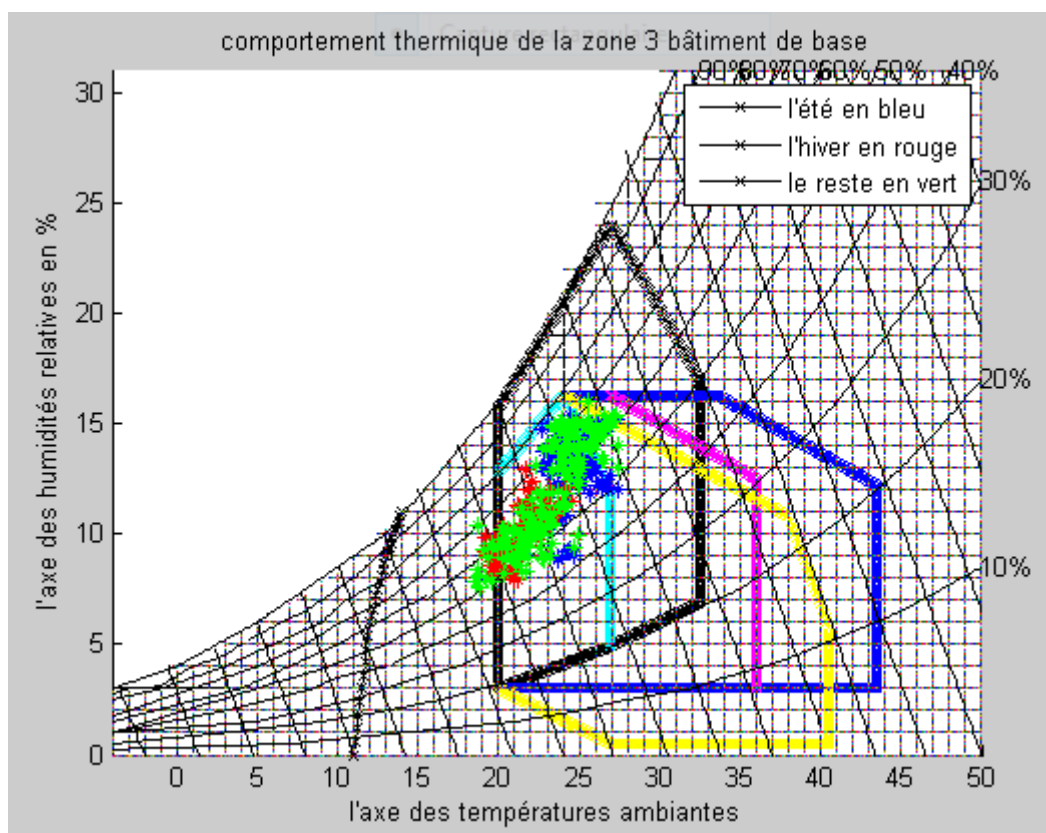
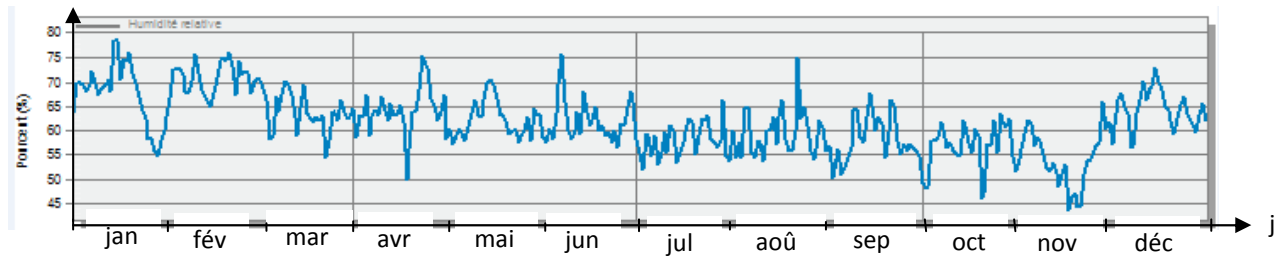


Figure 3. 18: la zone 3 dans le diagramme bioclimatique de Givoni, bâtiment de base

Zone 4 :

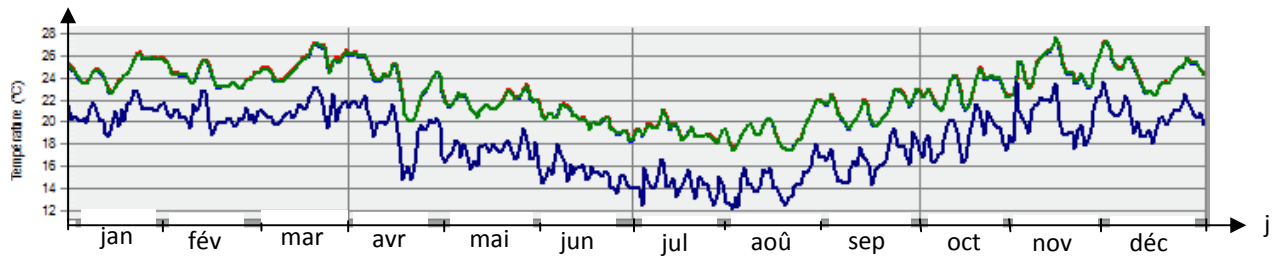
Période annuelle :



Humidités relatives quotidiennes

Figure 3. 19: courbes des humidités relatives moyennes quotidiennes de la zone 4

Source : EnergyPlus

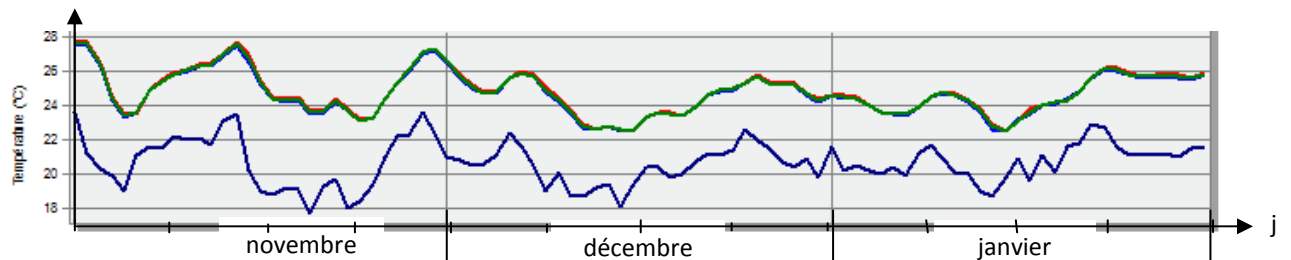


La première courbe multicolore est la confusion des courbes des températures ambiantes, radiantes et opératives quotidiennes et la deuxième courbe en bleu est celle des températures sèches extérieures quotidiennes

Figure 3. 20: courbes des températures moyennes quotidiennes de la zone 4

Source : EnergyPlus

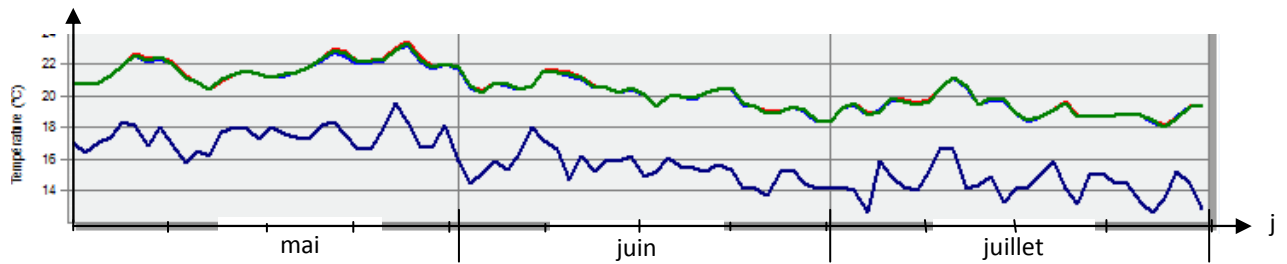
Périodes estivale et hivernale :



La première courbe multicolore est la confusion des courbes des températures ambiantes, radiantes et opératives quotidiennes et la deuxième courbe en bleu est celle des températures sèches extérieures quotidiennes

Figure 3. 21: courbes des températures moyennes quotidiennes de la zone 4 durant l'été

Source : EnergyPlus



La première courbe multicolore est la confusion des courbes des températures ambiantes, radiantes et opératives quotidiennes et la deuxième courbe en bleu est celle des températures sèches extérieures quotidiennes

Figure 3. 22: courbes des températures moyennes quotidiennes de CH4 durant l'hiver

Source : EnergyPlus

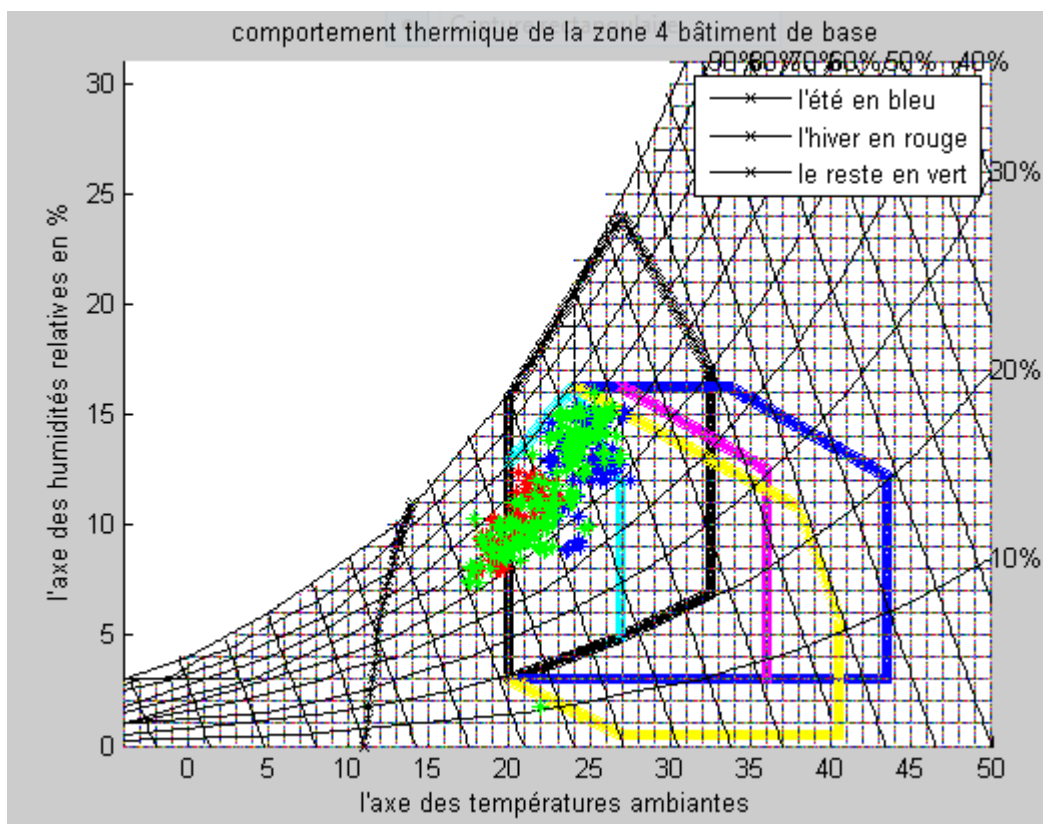


Figure 3. 23: la zone 4 dans le diagramme bioclimatique de Givoni, bâtiment de base

3.5.2 : Interprétations:

Le confort se définit par la sensation que ressent chaque individu par rapport à la température ambiante (T_{air}) et l'humidité relative (H_r).

Un confort hygrothermique d'une zone est caractérisé par une température ambiante comprise entre 20°C et 26,9°C et un taux d'humidité relative entre 20% et 80%.

Dans le diagramme psychométrique, le nuage des points représentés en bleu indique la période estivale et celui en rouge la période hivernale.

Pour les quatre zones du bâtiment étudiées, nous remarquons une similarité des représentations dans le diagramme psychométrique de Givoni. Ce dernier montre que le comportement thermique de l'habitation d'Antananarivo étudiée comprend trois zones confirmant ainsi les conclusions 2.3.4 :

- la zone du confort en air calme (zone souhaitée) ; grande partie ;
- la zone d'influence de la vitesse d'air (inconfort) ; une petite partie ;
- la zone d'influence des inerties des températures basses (inconfort) ; une petite partie.

Par suite l'inconfort se situe dans les deux dernières zones. Une amélioration est donc nécessaire pour ramener le comportement thermique proche de la zone de confort en air calme.

Ainsi,

- pour la zone d'influence d'air ; nous devons faire en sorte que les températures se abaissent ;
- pour la zone d'influence des inerties température basses ; nous devons agir de façon que les températures s'élèvent.

3.5.3 : Améliorations proposées :

Pour la zone d'influence des inerties basses températures : isolation des murs externes

Nous introduisons le polystyrène :

Tableau 3 9 : caractéristiques des murs externes (bâtiment amélioré)

Composants	Couches	Epaisseur [m]	Conductivité [W/Km ²]	Chaleur spécifique [J/kg.K]	Masse volumique [kg/m ³]
Murs externes	Enduit de ciment	0,015	1	1000	1800
	Brique de Mada	0,220	0,69	950	1500
	Polystyrène	0,050	0,034	1400	35
	Enduit de ciment	0,015	1	1000	1800

Pour la zone d'influence de la vitesse de l'air : double vitrage

Nous proposons un double vitrage ayant les caractéristiques suivantes :

Tableau 3 10 : Caractéristiques des vitres (bâtiment amélioré)

Prédéfinition		Double glazing, clear, electrochromic (reflective) switchable
Fenêtres externes	Type de vitrage	Dbl Elec Ref Bleached 6mm/6mm Air
	Couches	Nombre de couches : 2
	La vitre la plus externe	Type : Generic ECREF-2 BLEACHED 6MM
	Gaz de fenêtre	type de fenêtre : AIR 6MM
	La vitre la plus interne	type : Generic CLEAR 6MM

Source : DesignBuilder

3.5.4 : Résultats après les améliorations proposées :

Résultats issus de la simulation (habitation améliorée)

En annexe 2, nous avons des extraits des résultats des données quotidiennes relatives à la température ambiante et à l'humidité relative de chaque zone de l'habitation.

Nous constatons pour chaque zone de l'habitation d'après les figures 3.24 à 3.31 suivantes:

- une nette amélioration du confort thermique par rapport à la zone d'influence des inerties températures basses.
- une légère modification pour la zone d'influence de l'air.

L'action intervenue sur le double vitrage n'a pas donné de bons résultats.

Donc le type de bâtiment proposé a montré de bons résultats mais n'est pas parfait du point confort thermique. Aussi il serait intéressant de faire varier différents paramètres que ce soit au niveau du concept technique du bâtiment qu'au niveau des paramètres du confort pour s'approcher le plus possible du confort optimal ; ce sera une suite à cette étude.

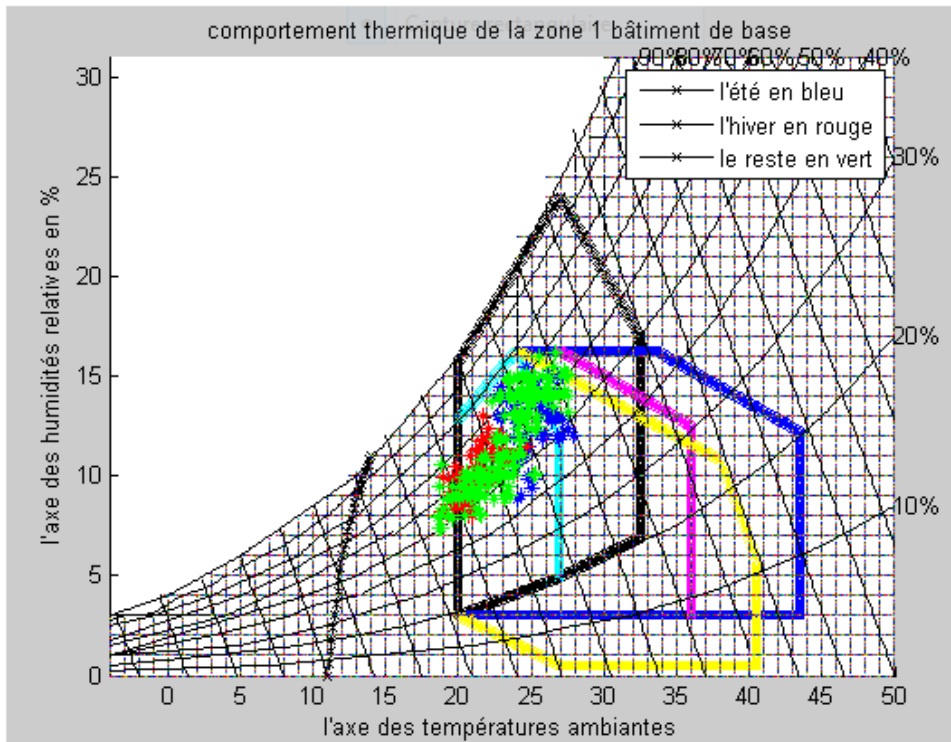


Figure 3. 24: la zone 1 du bâtiment de base

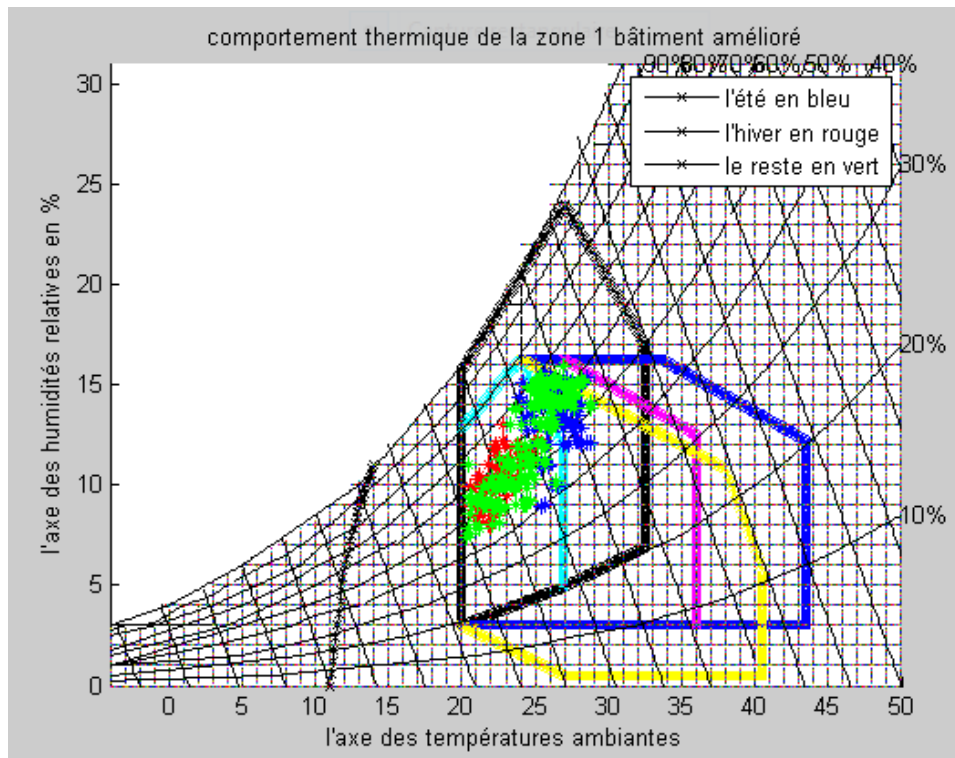


Figure 3. 25: comportement thermique de la zone 1 améliorée

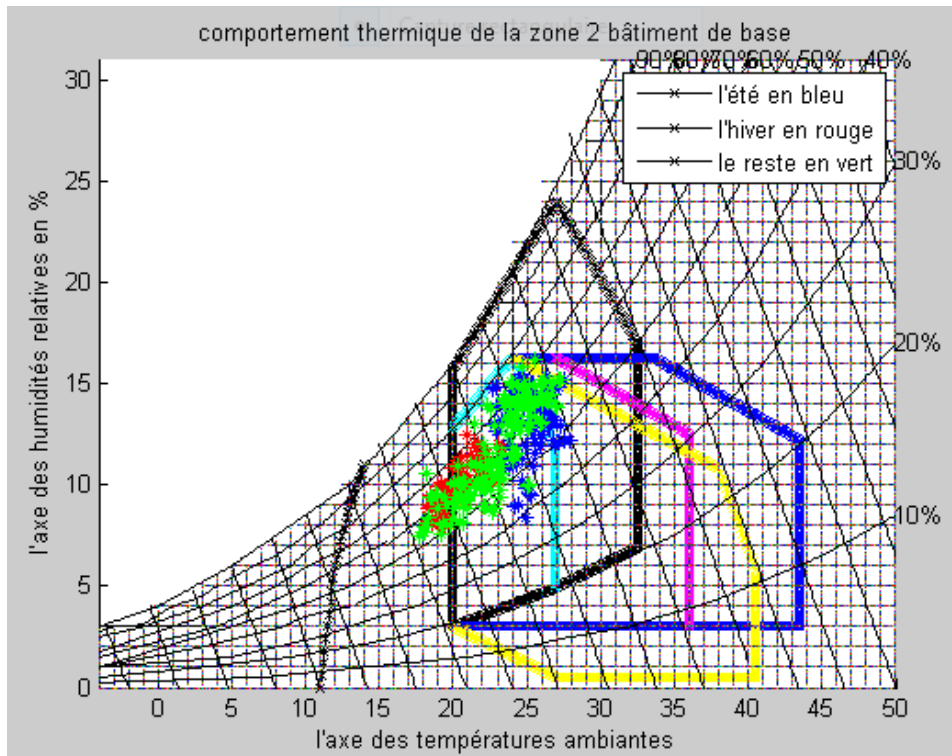


Figure 3. 26: la zone 2 du bâtiment de base

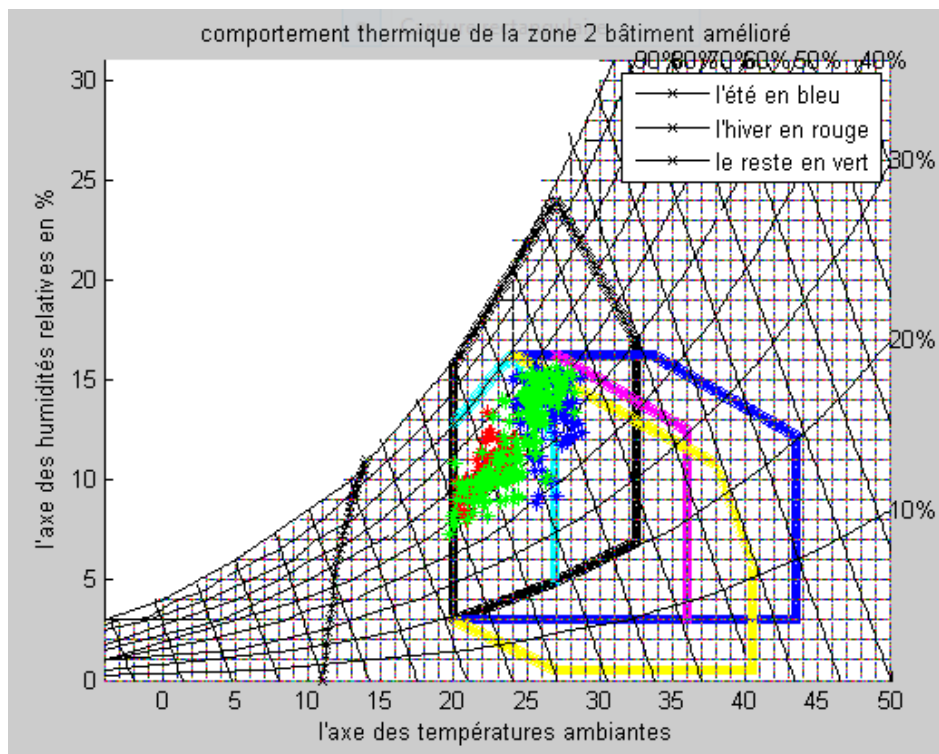


Figure 3. 27: comportement thermique de la zone 2 améliorée

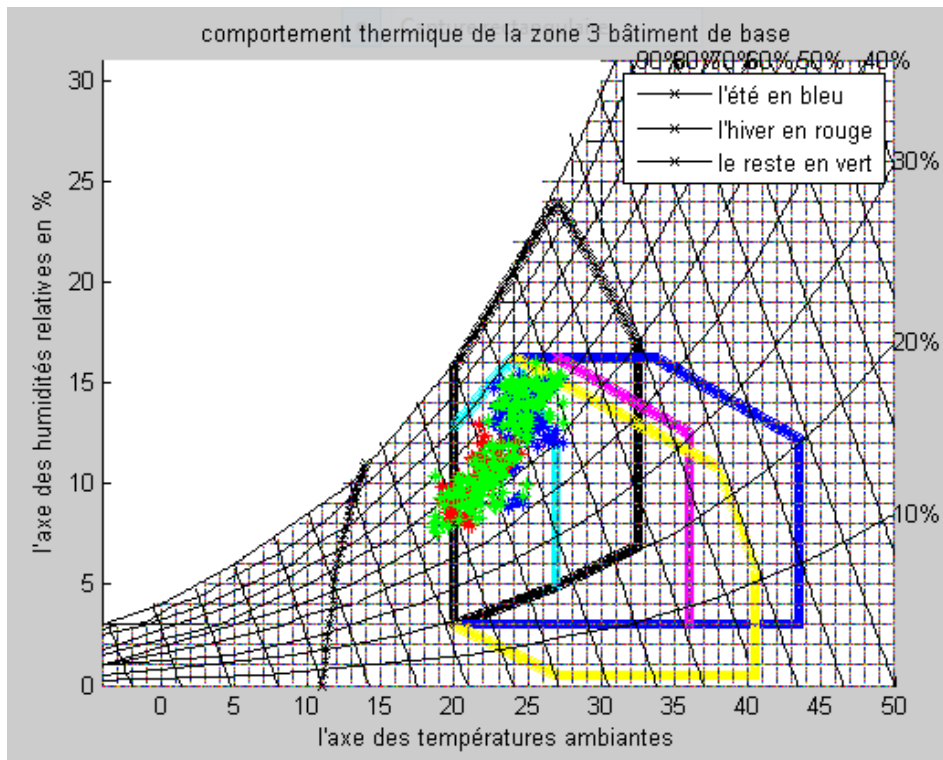


Figure 3. 28: la zone 3 du bâtiment de base

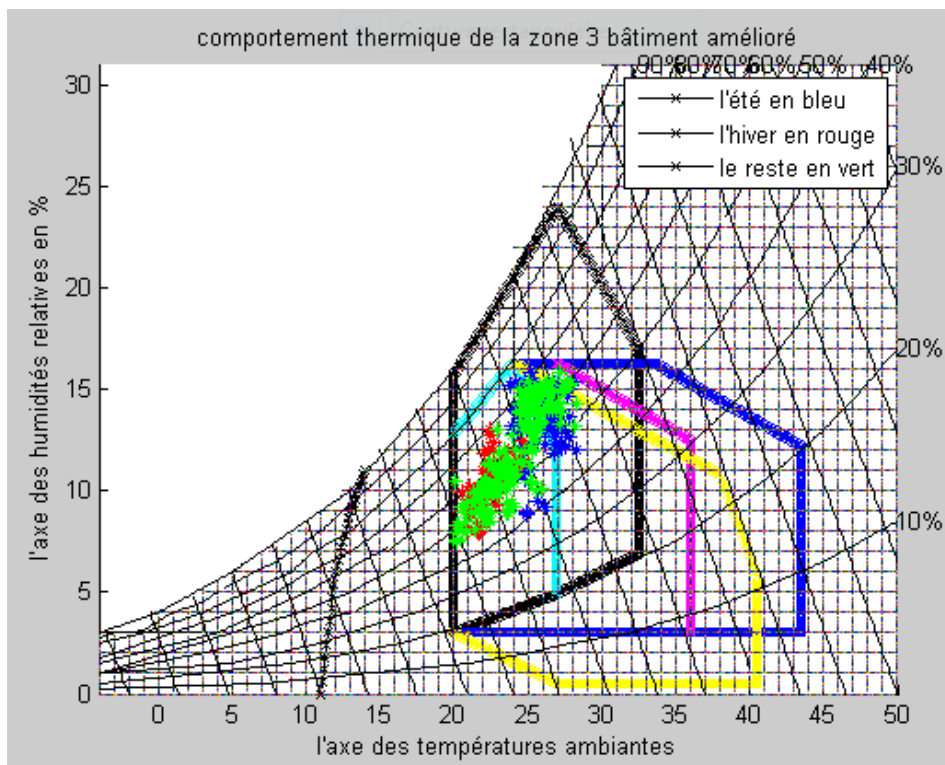


Figure 3. 29: comportement thermique de la zone 3 améliorée

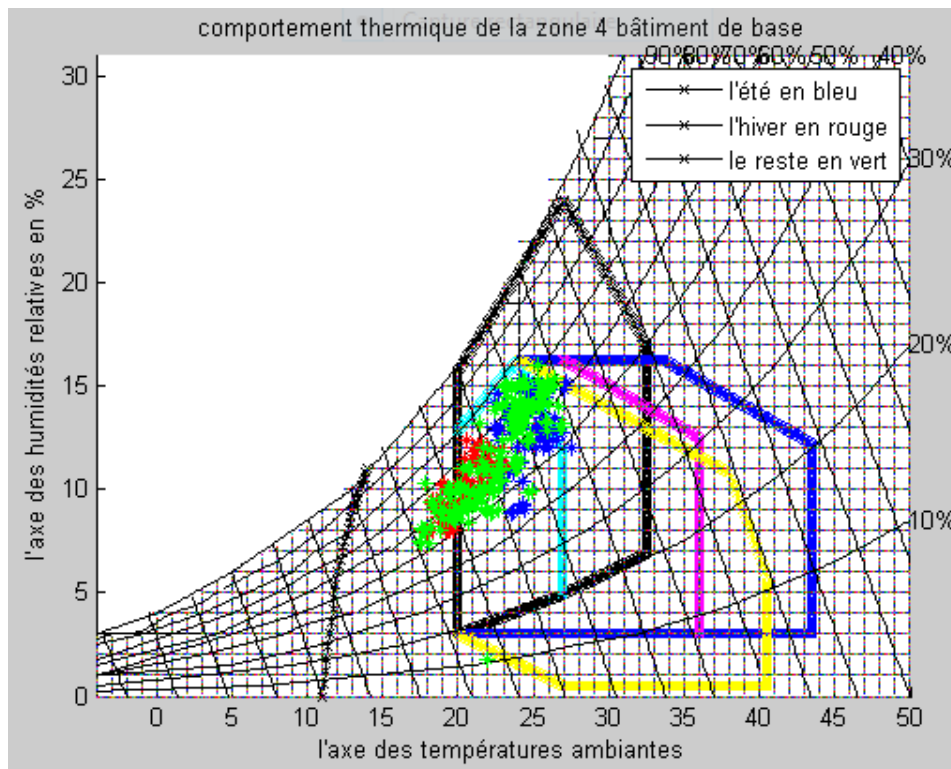


Figure 3. 30: la zone 4 du bâtiment de base

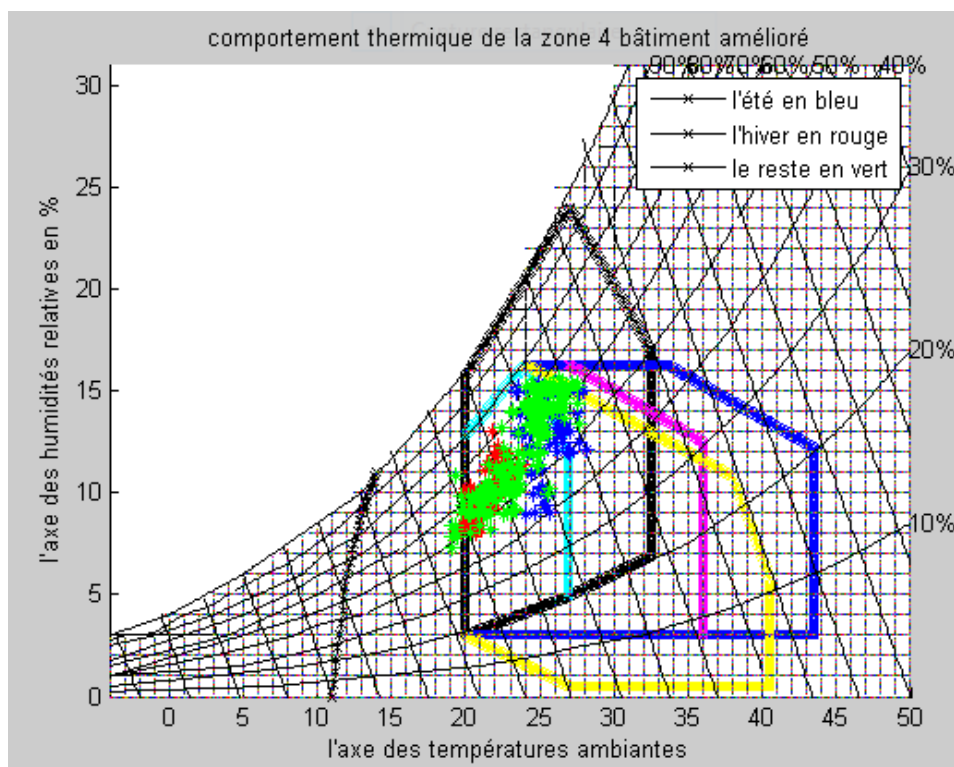


Figure 3. 31: comportement thermique de la zone 4 améliorée

Les figures 3.32 et 3.33 suivantes montrent deux vues de l'habitat type modélisé :

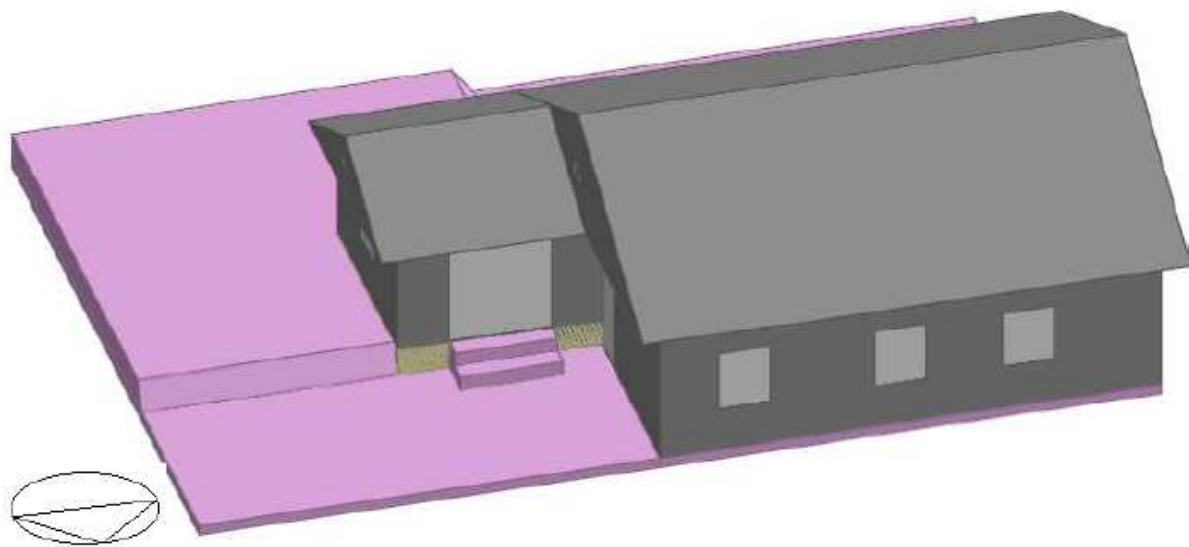


Figure 3. 32: vue de devant de l'habitat type modélisé

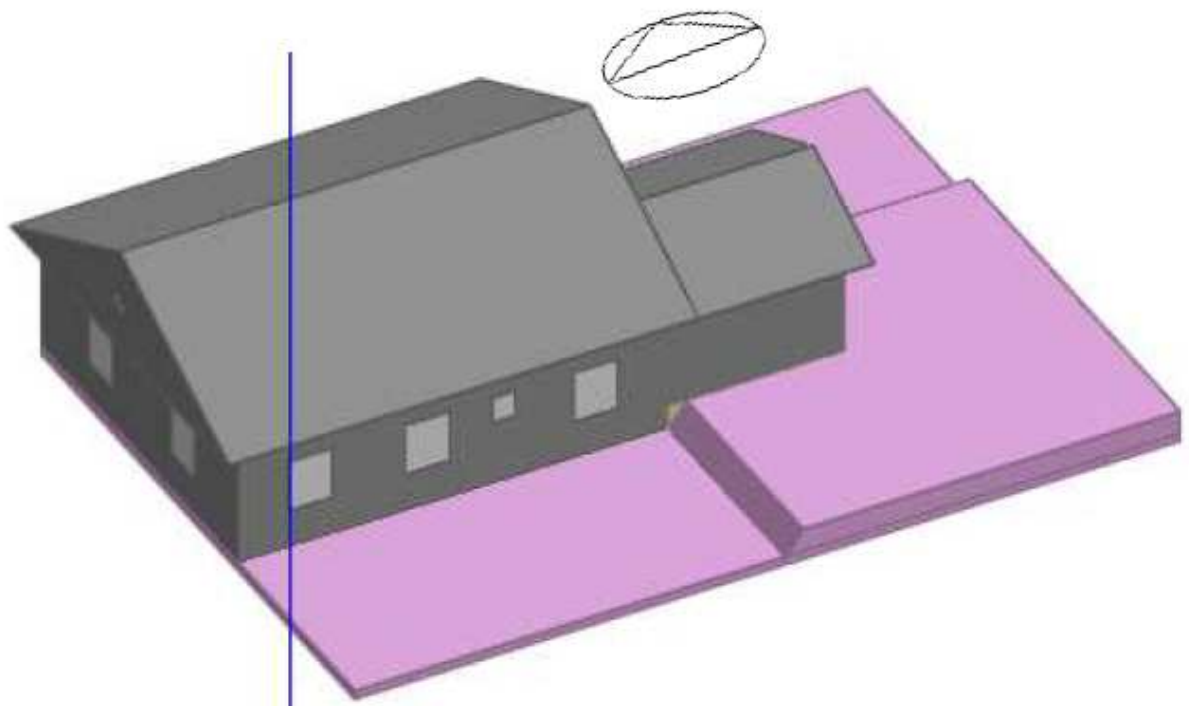


Figure 3. 33: vue de derrière de l'habitat type modélisé

CONCLUSIONS

Le confort thermique d'une habitation est une des préoccupations majeures de l'Homme.

Notre travail consiste à une approche de la recherche du confort thermique d'une habitation bioclimatique à Antananarivo. Etant une notion subjective pour chaque individu, le confort thermique s'évalue sur la base de certaines données climatiques de la région ; les plus utilisées sont la température ambiante et l'humidité relative. Ces couples, situés dans le diagramme psychométrique de Givoni, permettent d'avoir une idée du confort thermique.

A défaut de mesurer les paramètres, températures et humidités suscitées, toute l'année, la procédure préconisée s'appuie sur un programme de simulation numérique dont le but est la prédiction du comportement thermique. Lequel programme se sert des données moyennes climatiques quotidiennes ou mensuelles de la région durant une période de dix ans pour les prévisions.

Nous avons utilisé le logiciel le plus employé, EnergyPlus intégré dans DesignBuilder, pour simuler un habitat type. DesignBuilder sert pour la modélisation du bâtiment. Ainsi la simulation, sur la base des données climatiques d'Antananarivo et de certains paramètres de confort, nous a permis de situer Antananarivo dans le diagramme psychométrique de Givoni.

L'analyse a montré que le comportement thermique de l'habitat type d'Antananarivo est dans trois polygones du diagramme ; la zone de confort thermique optimal, en grande partie, la zone d'influence d'air et celle d'influence des inerties.

Par suite pour améliorer le comportement thermique de l'habitat type, des solutions passives à savoir l'isolation thermique des murs par l'introduction du polystyrène et un double vitrage, sont proposées pour diminuer voire éliminer l'inconfort constaté. Elles sont censées approcher le comportement thermique de l'habitat le plus près possible de la zone de confort thermique optimal.

La simulation effectuée pour améliorer le confort a montré des résultats encourageants pour le polystyrène ; une hausse de température. Par contre le double vitrage n'a pas donné le résultat escompté ; la baisse de la température par aération.

La panoplie des paramètres offerts par DesignBuilder permet de proposer des améliorations diversifiées pour s'approcher autant que possible du confort optimal.

Avec un plus de temps et de maîtrise, la conjugaison des solutions passives d'améliorations qui peuvent être suggérées et simulées, donnera un comportement thermique pour un confort de plus en plus intéressant.

Ces solutions peuvent intervenir au niveau du concept technique du bâtiment, l'isolation thermique et l'adoption des stratégies du chaud en hiver et du froid en été.

L'étude ainsi réalisée n'est pas, en soi, complète dans le sens où elle s'est basée seulement sur l'aspect 'thermique' ; des estimations financières et/ou esthétiques, toujours dans l'optique bioclimatique, seraient intéressantes à évaluer. Cela constituera d'autres études à faire ultérieurement.

ANNEXES

ANNEXE 1 : données météorologiques d'Antananarivo

T1 : Données météorologiques moyennes mensuelles d'Antananarivo (2009-2013)

	Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
2009	Tx (°C)	27,1	25,5	27,7	24,3								
	Tn (°C)	18,2	17,1	18	15,9								
	Pr (mm)	258,3	212	148,3	102,9								
	Nbre (j)	23	13	23	11								
2010	Tx (°C)												
	Tn (°C)												
	Pr (mm)												
	Nbre (j)												
2011	Tx (°C)				27	24	22,7	21,4	22,3	23,4	26,1	27,8	28,2
	Tn (°C)				16,6	14,3	11,8	10,8	12,4	12,4	14,8	16,8	17,9
	Pr (mm)	361,2	48		175,5	28,3	0	0	0,4	1,3	48,2	47,1	188,5
	Nbre (j)	13	1		10	20	0	0	1	3	11	12	13
2012	Tx (°C)	25,6	26,5	25,8	25,5	22,8	20,8	20,5	21,6	23,4	27	27,4	26,8
	Tn (°C)	17,9	17,8	17,1	16,7	14,2	12,3	10,9	11,5	12	14,2	16,8	16,8
	Pr (mm)	207,5	275,5	159,5	138,6	21,6	3,1	1,3	2,8	2,5	14,8	97,6	252,7
	Nbre (j)	21	20	13	10	5	7	1	4	3	3	14	9
2013	Tx (°C)	26,8	26,1	26,1	24,8	23,3	20,1	20,2	20,9	24,6	25,3	28,7	27,3
	Tn (°C)	17,5	17,9	17,4	15,5	14,3	10,1	10,5	10,1	12	14,6	17	17,3
	Pr (mm)	281,1	190,4	163,4	51,9	24,6	8,1	0	0,1	0,1	105,1	223,2	306,2
	Nbre (j)	17	22	14	5	4	5	0	1	1	8	16	17

T2 : Données météorologiques moyennes mensuelles d'Antananarivo (2009-2013)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Tx (°C)	26,5	26	26,5	25,8	23,4	21,2	20,7	21,6	23,8	26,1	28	27,4
Tn (°C)	17,9	17,6	17,5	16,3	14,3	11,4	10,7	11,3	12,1	14,5	16,9	17,3
Tmoy (°C)	22,2	21,8	22	21,1	18,9	16,3	15,7	16,5	18	20,3	22,5	22,4
Pr (mm)	249	226	157,1	122	24,8	3,7	0,4	1,1	1,3	56	122,6	249,1

T3 : Données météorologiques moyennes mensuelles d'Antananarivo des trente années (1961-1990)

Mois	Janv	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Hr (%)	81	81	81	79	78	78	78	76	72	71	76	79
Tx (°C)	25,7	25,9	25,4	24,8	22,9	20,9	20,2	20,6	23	25,2	26	25,8
Tn (°C)	16,6	16,9	16,3	15,2	12,9	10,8	10,3	10,3	11,3	13,4	15,1	16,3
Ta (°C)	20,2	20,3	19,9	19,1	17	14,9	14,3	14,5	16,3	18,4	19,4	19,9
Pr (mm)	270,4	256,9	183,1	50,5	20,1	7,2	11,1	15	9,5	66,6	170,8	304,1
Nbre (j)	14	14	12	5	2	2	2	3	2	6	11	16
Insol (h)	198,8	189,5	205,6	223,9	224,8	203,6	207,2	226,7	248,5	260,6	226,3	180,6
vit (m/s)	1,7	1,7	1,7	1,4	1,7	1,7	2	2	2	2	1,7	1,7

T4 : Températures moyennes mensuelles des trente années successives (1961-1990) d'Antananarivo.

Mois	Jan	Fév	mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	sep	Oct	nov	Déc
Tx (°C)	25,7	25,9	25,4	24,8	22,9	20,9	20,2	20,6	23	25,2	26	25,8
Tn (°C)	16,6	16,9	16,3	15,2	12,9	10,8	10,3	10,3	11,3	13,4	15,1	16,3
Tmoy (°C)	21,2	21,4	20,9	20	17,9	15,9	15,3	15,5	17,2	19,3	20,6	21,1

ANNEXE 2 : extrait des résultats après la simulation du bâtiment de base :

Zone 1 : extrait des résultats de la simulation de l'EnergyPlus des données météorologiques arrondies

	Janvier		février		Mars		Avril		Mai		Juin		Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		décembre	
	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr
1	25,34	63,2	25,91	65,3	24,48	69,2	26,55	62,9	23,52	56	22,98	55,1	19,27	55,5	19,21	57,2	22,71	53,7	23,6	47	24,71	52,7	26,65	56,7
2	24,88	69,4	25,58	71,4	24,93	68,7	26,6	56,9	22,25	58,4	21,91	53,6	20,71	50,8	18,55	51,4	23,06	47,1	23,16	45,8	25,94	55,1	25,84	60,3
3	24,72	69,2	24,69	71,5	24,85	67,3	27,3	59,8	22,25	55,2	21,81	55,1	20,92	48,4	19,29	53,5	23,46	49,3	23,34	45,9	25,58	58,3	25,26	65,6
4	24,11	68,9	24,74	70,9	25,13	64,8	26,92	59,5	22,84	55,6	22,28	53,6	19,75	56,6	19,55	50,6	22,43	54,1	23,82	55,6	24,1	61,2	25,07	66,2
5	23,82	67,5	24,93	69,6	25,45	56,5	26,7	64,9	23,35	56,7	21,63	60,5	19,95	56,6	20,13	60,7	21,55	48,6	22,79	56,9	23,35	60,5	25,35	62,8
6	23,93	68,1	24,68	66,2	25,28	57,5	26,27	57,8	23,48	56,2	21,17	66,4	21,03	51,8	20,55	60,6	21,48	48,8	22,13	57,5	23,82	56,1	26,3	61,4
7	23,84	70,6	24,67	65,9	24,81	65,5	26,12	61,4	22,97	55,5	21,75	73	20,61	56,4	21,1	51,3	21,17	51,1	21,8	59,7	25,46	56,8	26,75	54,6
8	24,39	68,2	24,67	68,3	24,27	62,4	25,19	62,6	23,29	58,2	22,86	62	20,48	49,9	21,18	50,1	20,78	52,9	21,71	56,2	26,09	55,7	26,49	55
9	25,13	65,4	24,08	73,7	23,99	66	24,33	61,5	22,46	61,9	22,83	56,3	20,7	52,7	20,27	54,4	20,63	60,5	22,05	54,8	26,36	53,8	25,51	61,5
10	25,32	66,6	23,96	70,3	24,2	68,3	24,28	65	21,61	64,2	22,39	54,3	21,44	56,1	20,08	54,2	21,38	60	23,11	56,4	26,78	50,6	24,65	65
11	24,87	67,9	24,79	66,9	24,51	67	24,64	61,5	21,56	60,9	22,19	56,3	22,14	52,4	20,45	50	21,95	54	24,17	54,9	27,16	49,8	23,8	69,3
12	24,42	69,7	25,27	66	25,04	64,3	25,38	58,8	21,22	60,4	21,24	61,8	21,22	59	21,26	55,4	22,69	52,2	24,38	54,7	27,22	51,4	23	65,4
13	24	67,2	26,03	64,4	25,45	59,6	25,08	62,8	21,98	62,7	21,23	56,5	19,98	58,2	21,6	55,5	23,28	58,8	24,19	54,3	27,58	49,8	22,94	67,4
14	22,9	77,8	25,89	63,7	25,3	56,9	24,89	60,7	22,03	67,3	20,78	66,2	20,73	51,2	21,69	58,3	22,7	64,2	22,99	61,1	27,92	47,8	23,29	67,6
15	22,69	77,6	25,16	67,2	25,27	63,4	25,85	61,1	22,01	68,6	21,3	61,3	20,33	53,6	20,55	55,1	21,57	62,8	21,91	60,2	26,97	49,9	22,83	71,8
16	23,5	69,5	24,4	70,1	25,79	67,9	25,53	63,5	21,68	67,9	21,23	57,7	19,25	56,5	19,53	61,3	20,48	58,1	21,52	55,9	25,84	51,4	22,71	69,2
17	24	72,9	23,56	73,4	26,3	61,7	24,09	60,2	21,5	65,3	20,15	61,1	18,89	58	18,75	64,5	20,33	60,7	22,24	53,6	25,17	42,1	23,66	67,3
18	24,43	72,5	23,43	73,9	26,32	60,8	22,48	48,2	21,93	61,3	20,96	60,8	19,45	60	18,8	55,3	20,89	57,9	23,34	58,4	25,03	44,8	23,96	63,8
19	24,64	74,5	23,51	73,2	26,65	60,1	21,32	54,5	22,41	60,7	20,97	57,1	20,18	58,2	18,75	52,6	21,46	51,2	24,16	58	24,85	46,1	23,83	63,3
20	24,7	70,6	23,51	74,7	27,06	60,7	20,62	62,7	22,83	59	20,62	58,5	20,77	51,9	18,79	52,3	21,84	56,5	25,17	45,3	24	43,4	23,75	60,9
21	25,2	68,3	23,53	72,1	27,57	60,6	20,89	61,2	23,46	56	21,01	55,9	19,4	56,9	19,01	55,8	21,8	63,3	25,25	46,3	24,31	43,2	24,52	58
22	26,23	64,9	23,83	66,1	27,36	61,6	21,42	64,7	23,93	56,7	21,61	56,3	19,29	60,6	18,82	71,4	22,53	62,6	24,19	56,3	24,83	49,6	25,33	60,3
23	26,77	62,2	24,02	72,7	27,59	52,4	22,31	72,2	23,35	57,6	21,9	53,8	19,34	60,3	19,61	58,8	23,64	55,8	24,25	56,3	24,21	52,3	25,41	63,5

24	26,66	60,7	23,84	69,5	27,56	55,7	22,85	72,1	22,96	55,1	20,72	56,2	19,56	61	19,83	60,3	23,81	52,6	24,62	60,6	23,67	52,7	25,49	65,1
25	26,54	55,8	23,39	70,9	25,53	61,9	22,89	71,8	23,43	55,6	20,54	52,9	19,93	55,3	20,68	57,4	23,66	54,3	24,2	54,6	23,95	53,9	25,9	61,8
26	26,47	56,4	23,5	70,9	25,03	61,7	23,23	65,7	23,65	56	19,86	58,6	20	54	21,4	52,1	23,48	52,8	24,36	62	24,8	56	26,06	61,6
27	26,43	54,1	24,13	66,5	26,1	60,1	23,91	64	24,2	58,8	19,86	58,7	19,61	53,2	21,88	50,5	22,89	54,6	24,2	61,4	25,43	57,4	25,7	60,5
28	26,39	53,1	24,25	68,6	26,04	64,7	24,8	59,9	24,66	54,2	20,22	62,1	19,26	54,4	22,02	53,9	22,4	53,9	23,32	59,5	26,17	65,5	25,68	58,6
29	26,34	55,9			25,95	62,1	25,25	61,4	22,91	62,1	19,8	65,4	19,9	62	22,63	59,6	23,15	53,2	22,73	60,6	27,14	60,1	25,53	62,3
30	26,13	58,4			26,9	59,6	24,91	64,6	22,26	61,5	18,91	64,4	20,81	50,4	22,74	57,8	23,95	52	23,04	53	27,49	60,8	24,95	64,6
31	26,28	61,4			27,24	61,2			22,93	60,8			20,75	49,7	22,77	53,3			23,16	49,4			24,62	60,7

Zone 2 : extrait des résultats de la simulation de l'EnergyPlus des données météorologiques arrondies

	Janvier		février		Mars		Avril		Mai		Juin		Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		décembre	
	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr
1	25,49	62,7	25,94	65,2	24,46	69,2	26,08	64,3	22,99	57,5	21,92	57,9	18,31	58,2	18,35	59,6	22,02	55,4	23,16	48	24,7	52,7	26,75	56,5
2	24,99	69	25,59	71,4	24,81	69,1	25,99	58,6	21,87	59,8	20,84	56,4	19,1	55,7	17,67	53,7	22,21	49,6	22,75	46,9	25,9	55,1	25,9	60,1
3	24,8	68,9	24,74	71,4	24,69	67,9	26,64	61,7	21,6	57	20,56	58,9	19,24	52,7	18,05	56,8	22,55	51,9	22,86	47,2	25,56	58,3	25,34	65,3
4	24,21	68,5	24,79	70,7	24,99	65,3	26,38	61,1	21,82	58,3	20,76	58	18,58	59,8	18,03	54,4	21,96	55,7	23,34	56,9	24,15	61	25,15	66
5	23,94	67,1	24,96	69,5	25,25	57	26,14	66,7	22,33	59,5	20,61	63,7	18,89	59,5	18,64	65,5	20,98	50	22,51	57,6	23,39	60,4	25,43	62,5
6	24,01	67,9	24,72	66,1	25,06	58,1	25,91	58,8	22,62	58,8	20,52	68,9	19,45	55,9	19,48	64,3	20,64	51,1	21,95	58	23,87	56	26,37	61,2
7	23,89	70,5	24,7	65,8	24,69	65,8	25,86	62,2	22,18	57,9	20,95	75,7	19,46	59,6	19,77	55,4	20,46	52,8	21,67	60,1	25,44	56,9	26,93	54,2
8	24,46	67,9	24,69	68,2	24,21	62,6	25,02	63,1	22,23	61,8	21,89	64,9	19,12	53,7	19,81	54	20,13	54,5	21,63	56,5	26,04	55,8	26,74	54,4
9	25,19	65,2	24,09	73,6	23,93	66,1	24,06	62,4	21,88	63,8	21,78	59,2	19,1	57,1	19,34	56,8	20,13	62	21,94	55,1	26,36	53,8	25,66	61
10	25,37	66,4	23,99	70,2	24,13	68,5	23,89	66,2	21,2	65,9	21,2	58,2	20,12	60,6	19,27	56,4	20,79	61,9	22,99	56,7	26,82	50,5	24,76	64,6
11	24,93	67,7	24,78	66,9	24,43	67,2	23,99	63,5	20,91	62,9	20,87	60,7	20,79	56,4	19,17	53,2	21,22	56,1	24,04	55,3	27,2	49,7	23,86	69,1
12	24,52	69,3	25,26	66	24,91	64,8	24,49	61,4	20,58	62,3	20,42	64,3	20,36	61,5	20,11	58,9	21,81	54,6	24,28	54,9	27,25	51,3	23,07	65,1
13	24,08	66,9	26,01	64,5	25,27	60,2	24,4	64,9	21,26	65,1	20,29	59,8	19,17	60,7	20,41	59,3	22,4	61,4	24,11	54,5	27,59	49,8	22,99	67,2
14	22,96	77,5	25,88	63,8	25,13	57,4	24,36	62,3	21,55	68,9	20,11	68,4	19,32	54,8	20,66	61,7	22,1	66	22,95	61,2	27,92	47,8	23,33	67,4

15	22,74	77,4	25,17	67,2	25,09	63,9	25,16	63,2	21,64	70,1	20,45	63,9	19,11	56,8	19,91	56,7	21,24	63,8	21,9	60,1	26,98	49,9	22,88	71,7
16	23,56	69,3	24,4	70,1	25,6	68,5	25	65,2	21,41	69,1	20,3	60,3	18,57	58,3	19,01	62,9	20,25	58,7	21,53	55,9	25,9	51,2	22,78	68,9
17	24,02	72,8	23,59	73,2	26,05	62,4	23,73	61,3	21,22	66,8	19,53	62,9	18,38	59,5	18,43	65,6	20,09	61,4	22,18	53,8	25,28	41,9	23,71	67,1
18	24,46	72,4	23,45	73,8	26,03	61,7	22,01	49,5	21,44	62,8	20	64,7	18,79	62	18,06	57,4	20,55	59	23,23	58,8	25,15	44,6	24,02	63,6
19	24,66	74,4	23,52	73,1	26,39	60,8	20,92	55,5	21,68	62,9	20,08	59,4	19,25	61,1	18,03	54,5	20,98	52,6	24,07	58,2	24,96	45,8	23,89	63,1
20	24,78	70,3	23,51	74,7	26,77	61,6	20,35	63,5	21,89	61,8	19,73	61,1	19,48	55,2	17,96	54,5	21,43	57,7	25,09	45,5	24,17	43	23,81	60,8
21	25,25	68,2	23,54	72,1	27,25	61,5	20,08	63,8	22,35	59,3	19,93	59,4	18,57	59,2	18,15	58,3	21,52	64,2	25,17	46,5	24,47	42,9	24,7	57,5
22	26,27	64,8	23,84	66,1	27,12	62,4	20,33	68,4	22,68	60,4	20,2	60,3	18,46	63,1	18,25	73,4	22,14	63,8	24,16	56,4	24,93	49,4	25,47	59,9
23	26,79	62,1	24,01	72,7	27,05	53,6	21,45	75,5	22,47	60,3	20,36	57,8	18,73	62,2	18,78	61,4	23,17	57,2	24,22	56,4	24,32	52	25,53	63,1
24	26,74	60,5	23,86	69,5	26,9	57,4	22,32	74,3	21,94	57,8	19,64	59,3	18,92	62,9	18,97	63	23,34	53,8	24,59	60,7	23,79	52,4	25,58	64,8
25	26,62	55,7	23,4	70,9	25,22	62,8	22,58	73	21,96	59,6	19,3	56,6	18,99	57,9	19,62	60,5	23,18	55,6	24,17	54,6	24,03	53,7	25,98	61,5
26	26,55	56,2	23,51	70,8	24,72	62,7	22,82	67,2	22,25	59,8	18,9	61,5	18,97	56,7	20,21	55,8	23,06	53,9	24,34	62	24,87	55,8	26,17	61,2
27	26,55	53,8	24,12	66,5	25,6	61,6	23,27	66,1	23,04	62,4	18,95	61,4	18,57	56	20,68	53,9	22,61	55,4	24,18	61,4	25,49	57,2	25,83	60,1
28	26,49	52,9	24,23	68,6	25,52	66,4	23,91	62,5	23,36	57,8	19,41	64,7	18,14	57,4	21,1	56,3	22,11	54,6	23,34	59,4	26,24	65,3	25,9	58
29	26,41	55,7			25,39	63,8	24,3	64,4	22,27	64,1	19,24	67,2	18,95	65,2	21,83	62,2	22,68	54,3	22,75	60,6	27,2	59,9	25,72	61,7
30	26,17	58,3			26,25	61,4	24,23	66,8	21,55	63,7	18,42	66	19,41	54,5	22,14	59,9	23,45	53,3	23,07	52,9	27,53	60,7	25,1	64,1
31	26,32	61,3			26,6	63,1			21,98	63,8			19,26	53,7	22,01	55,1			23,19	49,4			24,71	60,4

Zone 3 : extrait des résultats de la simulation de l'EnergyPlus des données météorologiques arrondies

	Janvier		février		Mars		Avril		Mai		Juin		Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		décembre	
	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr
1	25,17	63,7	25,67	66	24,24	70	26,66	62,5	23,7	55,5	23,08	54,9	19,45	55	19,62	56,1	22,51	54,1	23,16	47,9	23,95	54,5	26,63	56,7
2	24,86	69,4	25,53	71,6	24,64	69,7	26,59	56,9	22,47	57,7	22,07	53,2	20,78	50,5	18,77	50,9	22,75	47,6	22,78	46,5	25,26	56,7	25,9	60,1
3	24,73	69,2	24,81	71,2	24,75	67,6	26,93	60,8	22,3	55	21,82	55	21,19	47,3	19,24	53,6	23,28	49,6	22,86	46,8	25,38	58,7	25,28	65,5
4	24,26	68,4	24,56	71,5	24,96	65,3	26,57	60,5	22,75	55,8	22,33	53,4	20,23	55,3	19,61	50,5	22,51	53,8	23,41	56,7	24,25	60,7	24,95	66,6
5	23,87	67,3	24,66	70,6	25,08	57,5	26,58	65,2	23,21	57,1	21,89	59,6	20,21	55,8	20,25	60,4	21,65	48,4	22,91	56,5	23,44	60,2	24,92	64,1
6	23,81	68,5	24,47	66,9	24,99	58,3	26,39	57,4	23,52	56	21,34	65,8	21,21	51,3	20,56	61,1	21,41	48,9	22,21	57,3	23,54	56,7	25,62	63,4
7	23,7	71,2	24,38	66,9	24,71	65,8	26,15	61,3	23,16	55	21,69	73,4	21	55,3	21,11	51,2	20,97	51,6	21,77	59,9	24,72	58,8	25,99	56,5
8	24,05	69,3	24,38	69,3	24,24	62,5	25,26	62,4	23,51	57,5	22,61	62,7	20,89	48,8	21,29	49,8	20,49	53,6	21,48	56,9	25,44	57,4	25,75	56,9
9	24,64	66,9	23,99	74	23,97	66,1	24,4	61,3	22,77	61	22,75	56,5	21,21	51,3	20,4	54,1	20,32	61,6	21,66	55,8	25,86	55	25,12	62,6
10	24,92	67,9	23,82	70,8	24,03	68,9	24,3	64,9	21,92	63,3	22,52	53,9	21,74	55,2	19,95	54,5	20,9	61,8	22,59	57,7	26,16	51,9	24,56	65,2
11	24,7	68,5	24,41	68,1	24,14	68,3	24,53	61,8	21,74	60,4	22,49	55,3	22,33	51,8	20,28	50,4	21,43	55,5	23,66	56,2	26,37	51,5	23,88	69
12	24,39	69,8	24,88	67,3	24,44	66,3	25,15	59,4	21,35	60	21,65	60,3	21,66	57,7	21,04	55,8	22,09	53,6	24,12	55,2	26,43	53,2	23,15	64,9
13	24,02	67,1	25,6	65,8	24,78	61,6	25,02	63	21,88	63	21,55	55,4	20,53	56,7	21,51	55,8	22,75	60,3	24,11	54,5	26,94	51,2	22,86	67,6
14	23,07	77,1	25,72	64,2	24,9	57,9	24,8	61	22,02	67,4	21,16	65	21,14	50,2	21,64	58,4	22,53	64,7	23,12	60,6	27,47	48,7	23,09	68,2
15	22,74	77,4	25,19	67,1	25,11	63,9	25,7	61,5	22,08	68,4	21,41	60,9	20,96	52	20,77	54,4	21,61	62,6	22,07	59,5	26,85	50,1	22,87	71,7
16	23,25	70,3	24,53	69,7	25,59	68,6	25,67	63	21,86	67,2	21,28	57,5	19,88	54,8	19,94	60	20,61	57,8	21,5	56	25,7	51,7	22,65	69,3
17	23,68	74,1	23,76	72,7	25,91	62,8	24,4	59,3	21,71	64,6	20,38	60,4	19,26	57,1	19,05	63,6	20,25	61	21,75	55	24,68	42,9	23,37	68,3
18	24,11	73,7	23,42	73,9	26,01	61,7	22,76	47,5	21,98	61,2	21,01	60,4	19,55	59,8	18,82	55,3	20,47	59,6	22,78	60,1	24,31	46,2	23,77	64,4
19	24,42	75,3	23,43	73,5	26,32	61	21,67	53,6	22,34	60,9	21,08	56,7	20,15	58,5	18,68	52,8	20,88	53,3	23,71	59,1	24,37	47	23,76	63,5
20	24,45	71,4	23,45	74,9	26,68	61,8	20,92	61,8	22,75	59,3	20,88	57,6	20,87	51,7	18,63	52,8	21,33	57,3	24,62	46,3	23,67	43,9	23,67	61,2
21	24,89	69,4	23,46	72,4	27,22	61,6	20,99	60,9	23,4	56,1	21,29	55	19,86	55,6	18,73	56,7	21,44	64,4	24,93	47	23,63	44,5	23,99	59,4
22	25,64	66,7	23,64	66,7	27,28	61,8	21,46	64,6	24,05	56,4	21,82	55,7	19,68	59,4	18,71	71,8	22,06	64,1	24,22	56,2	24,2	51	24,62	62,3
23	26,23	63,8	23,82	73,4	27,4	52,7	22,27	72,3	23,59	56,9	22,1	53,2	19,55	59,7	19,39	59,6	23,16	57,1	24,2	56,3	23,96	52,9	24,97	64,9
24	26,18	62,1	23,64	70,2	27,4	56,1	22,88	72,1	23,17	54,5	21,03	55,5	19,64	60,7	19,57	61,2	23,37	53,7	24,39	61,2	23,41	53,4	25,13	66,3

25	25,89	57,5	23,32	71,2	25,72	61,3	22,98	71,5	23,65	55	20,81	52,1	19,97	55,2	20,41	58,1	23,2	55,5	24,06	54,9	23,46	55,2	25,52	62,9
26	25,76	58,2	23,45	71,1	25,01	61,8	23,35	65,3	23,79	55,6	20,21	57,7	20,02	53,9	21,32	52,2	22,98	54,1	24,15	62,6	24,32	57,3	25,77	62,5
27	25,7	55,9	23,93	67,1	25,85	60,8	24,07	63,5	24,13	59	20,14	57,9	19,68	53,1	21,85	50,5	22,56	55,6	24,07	61,7	25,13	58,1	25,53	60,9
28	25,69	54,8	24,02	69,4	26,02	64,7	24,84	59,8	24,61	54,3	20,3	61,8	19,42	54	22,11	53,5	22,03	54,9	23,35	59,4	25,85	66,5	25,32	59,6
29	25,73	57,5			25,93	62	25,35	61,1	23,18	61,3	19,93	64,9	19,76	62,6	22,6	59,6	22,47	54,8	22,58	61,1	26,82	61	25,25	63,1
30	25,75	59,5			26,59	60,5	24,96	64,4	22,57	60,5	19,26	63,3	20,7	50,6	22,63	58,1	23,27	53,7	22,55	54,3	27,25	61,5	24,86	64,9
31	25,9	62,5			27,03	61,8			23,01	60,4			20,93	49,2	22,67	53,5			22,55	50,9			24,49	61,1

Zone 4 : extrait des résultats de la simulation de l'EnergyPlus des données météorologiques arrondies

	Janvier		février		Mars		Avril		Mai		Juin		Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		décembre	
	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr
1	25,25	63,4	25,45	66,8	24,03	70,8	26	64,6	22,7	58,3	21,7	58,6	18,29	58,3	18,24	59,9	21,5	56,8	22,65	49,1	24,12	54,1	26,48	57,1
2	24,7	70	25,25	72,6	24,39	70,5	25,96	58,6	21,73	60,6	20,5	57,4	19,2	55,4	17,46	54,3	21,88	50,2	22,25	48	25,46	56,2	25,59	61,1
3	24,54	69,9	24,41	72,6	24,41	68,8	26,18	63,2	21,38	57,4	20,18	60,5	19,46	52,1	17,81	57,5	22,43	51,9	22,34	48,4	25,18	59,3	24,99	66,5
4	23,98	69,4	24,26	72,7	24,66	66,4	25,75	63	21,57	59	20,79	58,2	18,72	59,4	18,03	54,4	21,85	56,1	22,97	57,9	23,75	62,3	24,67	67,6
5	23,6	68,2	24,39	71,6	24,8	58,3	25,89	67,5	22,08	60,2	20,63	63,7	19,05	59	18,85	64,8	20,65	51	22,36	58	22,99	61,6	24,71	64,8
6	23,52	69,5	24,16	68	24,68	59,1	25,83	58,9	22,6	58,8	20,39	69,4	19,8	54,9	19,37	64,8	20,27	52,3	21,67	58,8	23,46	57	25,56	63,6
7	23,41	72,3	24,13	67,7	24,33	67,1	25,6	63	22,19	57,8	20,62	76	19,63	59,2	19,73	55,5	19,84	54,4	21,33	61,7	24,82	58,5	25,93	56,7
8	23,92	69,8	24,09	70,3	23,83	63,8	24,65	64,3	22,41	60,9	21,57	66	19,43	52,9	19,72	54,3	19,38	56,6	21,01	58,7	25,32	57,8	25,71	57
9	24,53	67,3	23,56	75,7	23,55	67,4	23,77	63,3	21,98	63,5	21,49	60	19,67	55,5	19,03	57,8	19,42	64,4	21,46	56,4	25,78	55,2	24,79	63,7
10	24,7	68,7	23,5	72	23,67	70,2	23,68	67	21,11	66,5	21,29	58,3	20,5	59,5	18,78	57,7	20,04	64,5	22,6	57,7	26,02	52,3	24,23	66,3
11	24,4	69,6	24,29	68,6	23,8	69,5	23,81	64,1	20,78	63,3	21,07	60,2	21,17	55,3	18,89	53,9	20,4	58,8	23,77	56	26,29	51,7	23,51	70,4
12	24,14	70,6	24,73	67,8	24,09	67,5	24,27	62,1	20,38	63	20,51	64	20,51	61,1	19,78	59,9	21,01	57,6	24,13	55,2	26,32	53,5	22,75	66,2
13	23,73	68,1	25,48	66,2	24,38	62,8	24,1	65,8	21	66,2	20,5	59,2	19,38	60	20,26	60	21,89	62,9	23,95	54,9	26,95	51,2	22,58	68,7
14	22,67	78,8	25,5	65	24,52	59	24,02	63,3	21,36	70	20,19	68,2	19,8	53,5	20,4	62,7	21,61	67,7	22,67	62,1	27,56	48,5	22,83	69,2

15	22,47	78,6	24,98	67,8	24,83	64,7	25,11	63,3	21,58	70,4	20,44	63,9	19,65	55,3	19,69	57,3	20,75	65,3	21,68	61	26,55	50,9	22,52	73
16	23,16	70,7	24,14	71,1	25,3	69,6	24,99	65,2	21,33	69,4	20,04	61,1	18,86	57,5	19,04	62,7	19,83	60	21,07	57,7	25,22	52,9	22,45	70,2
17	23,55	74,6	23,31	74,3	25,63	63,6	23,62	61,7	21,2	66,8	19,32	63,6	18,39	59,6	18,26	66,2	19,59	63	21,57	55,5	24,38	43,4	23,29	68,6
18	23,96	74,3	23,08	75,2	25,71	62,6	21,91	49,7	21,31	63,2	19,97	64,8	18,67	62,4	17,74	58,4	19,84	61,4	22,71	60,4	24,26	46,4	23,62	64,9
19	24,17	76,3	23,15	74,6	26,01	61,9	20,69	56,2	21,43	63,7	19,92	59,9	19,08	61,6	17,57	55,8	20,36	54,6	23,8	58,9	24,34	47,1	23,5	64,4
20	24,28	72	23,17	76,1	26,39	62,8	20,2	64	21,77	62,1	19,79	61	19,53	55	17,45	56	20,71	59,6	24,74	46,1	23,55	44,2	23,4	62
21	24,78	69,8	23,2	73,4	26,98	62,3	20,01	64	22,28	59,4	20,13	58,8	18,65	59	17,59	60	20,86	66,3	24,89	47,1	23,68	44,4	23,94	59,5
22	25,6	66,9	23,46	67,3	26,87	63,1	20,34	68,4	22,83	59,9	20,38	59,8	18,69	62,4	17,84	75,1	21,71	65,2	23,84	57,3	24,25	50,9	24,58	62,5
23	26,13	64,1	23,53	74,5	26,75	54,3	21,45	75,5	22,48	60,2	20,42	57,6	18,7	62,3	18,43	62,5	22,86	58	23,99	57	23,67	53,7	24,82	65,4
24	26,04	62,5	23,28	71,5	26,63	58,1	22,42	73,9	22,02	57,5	19,45	59,9	18,79	63,3	18,43	64,8	22,86	55,1	24,13	62	23,07	54,2	24,93	67
25	25,63	58,3	22,99	72,4	24,88	64	22,6	72,9	22,13	59,1	19,3	56,5	18,88	58,2	19,4	61,1	22,63	57,1	23,84	55,5	23,28	55,7	25,36	63,4
26	25,59	58,6	23,24	71,9	24,38	63,8	22,92	66,7	22,22	59,9	18,89	61,6	18,72	57,5	20,21	55,8	22,39	55,9	23,89	63,4	24,42	57	25,67	62,8
27	25,66	56	23,78	67,7	25,42	62,1	23,52	65,2	22,91	62,8	19,02	61,2	18,35	56,6	20,68	54,2	22,02	57,2	23,92	62,1	25,27	57,8	25,31	61,6
28	25,67	54,9	23,76	70,3	25,48	66,5	24,06	62	23,24	58,1	19,28	65,1	18	57,8	21,18	56,2	21,36	56,6	22,96	60,6	26,02	65,9	25,21	59,9
29	25,61	57,8			25,29	64	24,48	63,8	22,15	64,5	19,03	68	18,6	66,4	21,85	62,1	22,03	56	22,19	62,4	27,06	60,3	25,19	63,2
30	25,55	60,1			25,92	62,4	24,05	67,4	21,73	63,1	18,39	66,1	19,28	54,8	21,92	60,6	22,9	54,7	22,41	54,7	27,21	61,6	24,64	65,6
31	25,77	62,9			26,39	63,7			22,01	63,6			19,24	53,7	21,74	55,9			22,33	51,7			24,16	62,1

ANNEXE 3 : extrait des résultats de simulation du bâtiment amélioré :

Zone 1 : extrait des résultats de la simulation de l'EnergyPlus des données météorologiques arrondies

	Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin		Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		Décembre	
	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr
1	26,06	61	27,08	61,8	25,38	66,1	27,58	59,8	24,45	53,4	24,03	52,6	20,89	50,9	20,75	53	24,08	50,2	24,68	44,7	25,91	49,8	28,17	53,1
2	25,8	66,1	26,94	66,7	25,92	65,4	27,66	54	23,32	55,2	23,39	50,1	21,8	47,8	20,32	47,1	24,18	44,4	24,28	43,4	26,9	52,8	27,25	56,3
3	25,73	65,7	26,41	65,8	26,12	63,4	28,1	57,5	23,31	52,2	22,98	52,1	21,96	45,6	20,98	49,2	24,38	47,1	24,44	43,5	26,82	54,9	26,69	61,1
4	25,35	64,6	26,25	65,6	26,16	61,6	27,71	57,3	23,98	52,9	23,2	51,1	21,03	52,7	21,23	46,8	23,29	51,9	24,81	53,1	25,74	56,3	26,47	61,8
5	25,36	62,5	26,15	65,5	26,41	53,9	27,5	62,3	24,45	53,9	22,3	58,3	21,46	51,4	21,5	56,8	22,72	46	24,29	53,1	24,89	56	26,62	59
6	25,5	63,2	25,8	62,7	26,21	54,9	27,42	55	24,38	53,8	22,2	62,9	22,4	48,7	21,83	56,5	22,58	46,1	23,91	53	25,39	52	27,33	58,4
7	25,05	66,5	25,79	62,2	25,73	62,5	27,34	58,2	23,92	52,9	22,8	69,3	22,02	52,6	22,2	48,5	22,61	47,9	23,25	55,3	26,5	54	28,02	51,8
8	25,5	64,4	25,69	64,9	25,25	59,4	26,32	59,2	24,21	55,6	23,88	59,4	21,86	46,7	22,2	47,4	22,46	49	23,02	52	26,94	53,5	27,96	51,5
9	26,15	62,2	25,41	69	25,21	61,8	25,4	58,4	23,27	59,5	24,08	53,2	21,89	49,8	21,43	50,6	22,07	56,1	23,32	51,3	27,47	51,1	26,8	57,7
10	26,24	63,6	25,54	65,1	25,48	64	25,32	61,6	22,47	61,3	23,36	51,4	22,54	53,1	21,61	50,7	22,63	56,1	24,27	53,1	27,97	48,2	26,03	60,6
11	25,77	64,8	25,88	63,3	25,52	63,7	25,66	58,4	22,8	57,4	23,1	53,6	23,01	50	22,02	46,6	23,01	51,3	25,22	52,2	28,15	47,5	25,09	64,9
12	25,71	65,6	26,24	62,9	25,87	61,7	26,24	56,3	22,61	56,3	22,07	58,6	21,99	56,3	22,41	52,2	23,67	49,6	25,65	51,7	28,13	49	24,42	60,9
13	25,43	62,8	26,99	61,4	26,17	57,6	26,14	59,5	23,07	59,2	22,27	53,2	21,59	53,7	22,64	52,8	24,02	56,6	25,64	50,9	28,48	47,7	24,33	62,7
14	24,15	73	26,92	60,6	26,01	54,9	26,18	57,1	22,89	64,3	21,82	62,1	22,27	47,9	22,7	55,1	23,85	60,6	24,28	57,2	28,79	45,9	24,73	62,8
15	23,95	72,7	26,3	63,5	26,03	61	26,8	58,4	22,81	65,5	22,68	57,5	21,55	50,3	21,73	51,6	23,18	58	23,07	56,2	27,77	48	24,43	66,3
16	24,63	65,5	25,86	65,3	26,72	65	26,38	60,8	22,29	65,1	22,67	53,9	20,9	52	21,16	55,9	21,94	53,9	22,82	52,2	27,31	48,1	24,22	63,9
17	24,73	70,1	25,33	67	27,35	58,7	25,13	57,2	22,34	62,2	21,55	56,5	20,67	53,2	20,57	58,7	21,78	56,2	23,54	49,8	26,89	39	24,85	63,3
18	25,27	69,4	24,89	68,6	27,16	58,5	23,63	45,5	23,03	58,2	22,25	56,6	20,98	55,3	20,7	50,4	22,22	54	24,44	55,2	26,5	41,9	25,08	60,5
19	25,62	71,1	24,8	68,5	27,49	57,7	22,31	51,7	23,58	57,3	21,95	54,3	21,57	54,1	20,48	48	22,69	48,2	25,45	54,5	26,17	43,3	24,98	59,8
20	26	66,2	24,67	70,4	27,81	58,6	22,11	58,4	23,81	56,2	21,8	54,9	22,17	48,8	20,55	47,9	22,9	53,4	26,38	43,2	25,45	40,5	24,95	57,4
21	26,31	64,7	24,71	67,9	28,28	58,5	22,59	56,5	24,33	53,6	22,05	52,9	21,05	52,5	20,58	51,2	23,07	59,4	26,37	44,1	25,69	40,6	25,85	54,5
22	27,22	61,8	24,9	62,6	28,2	59,2	22,61	61	24,67	54,6	22,94	52,8	20,98	55,5	20,42	65,4	23,86	58,6	25,5	53	25,96	47	26,57	56,7
23	27,63	59,6	25,25	68,2	28,78	50	23,26	68,4	24,15	55,4	23,38	50,3	20,92	55,2	21,09	54,2	24,66	53,2	25,68	52,6	25,7	48,9	26,57	59,8

24	27,66	57,8	25,28	64,9	28,73	52,8	23,74	68,9	23,85	52,8	22,07	52	21,02	56,4	21,3	56	24,76	50,3	25,9	56,9	25,41	48,7	26,6	61,6
25	27,52	53,3	24,65	66,5	26,72	58,4	23,71	68,8	24,51	52,8	21,86	49,3	21,31	51,1	22,1	53,7	24,63	51,7	25,46	51,4	25,38	50,3	27,01	58,5
26	27,67	53,3	24,66	66,9	26,28	58,1	24,09	62,9	24,78	53,1	21,21	54,5	21,24	50,5	22,55	49,1	24,51	50,3	25,77	57,9	25,98	52,9	27,18	58,2
27	27,84	51	25,18	63	27,03	57,4	24,92	61	25,12	56,3	21,28	54,5	21,16	49,4	22,9	47,9	23,93	51,9	25,64	57,3	26,64	54,3	26,96	56,9
28	27,63	50,1	25,13	65,7	26,71	62,4	25,89	57	25,37	52,4	21,5	57,4	20,93	50,2	22,9	51,3	23,84	50,1	24,71	55,5	27,23	62,1	27,14	54,6
29	27,46	53			26,9	59,1	26,1	58,9	23,7	59,5	21,14	61,2	21,3	57,2	23,55	56,6	24,54	50	24,05	56,7	28,12	57,2	27,04	57,8
30	27,22	55,6			27,79	57,1	25,82	61,6	23,28	58,3	20,57	59,3	21,9	47,4	23,48	55,7	24,92	49,7	24,33	49,6	28,59	57,9	26,47	59,9
31	27,32	58,3			28,21	58,6			23,8	58			21,79	47,2	23,99	50,4			24,39	46,7			25,94	56,9

Zone 2 : extrait des résultats de la simulation de l'EnergyPlus des données météorologiques arrondies

	Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin		Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		Décembre	
	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr
1	26,17	60,7	27,15	61,6	25,4	66	27,27	60,6	24,1	54,3	23,23	54,5	20,14	53	20,23	54,3	23,57	51,4	24,41	45,2	25,91	49,8	28,28	52,8
2	25,91	65,7	26,99	66,5	25,85	65,6	27,21	55,1	22,98	56,1	22,51	52,1	20,7	51	19,74	48,5	23,54	45,7	24,02	43,9	26,9	52,8	27,35	56
3	25,82	65,4	26,47	65,6	26,02	63,7	27,67	58,7	22,8	53,6	22,12	54,3	20,85	48,8	20	51,6	23,71	48,5	24,14	44,1	26,84	54,8	26,8	60,7
4	25,45	64,3	26,34	65,3	26,11	61,8	27,38	58,2	23,17	54,8	22,19	53,8	20,32	54,7	19,98	49,6	22,96	52,7	24,53	53,8	25,81	56,1	26,58	61,5
5	25,48	62,2	26,22	65,3	26,32	54,2	27,13	63,5	23,7	55,8	21,87	59,4	20,71	53,7	20,53	59,4	22,35	46,8	24,12	53,5	24,97	55,8	26,74	58,7
6	25,59	62,9	25,87	62,5	26,12	55,2	27,18	55,6	23,74	55,5	21,83	64,1	21,13	51,6	21,15	58,7	22,11	47,3	23,8	53,3	25,46	51,8	27,43	58,1
7	25,13	66,2	25,86	62	25,71	62,6	27,16	58,6	23,25	54,7	22,28	71,1	21,21	54,6	21,27	51	22,16	48,9	23,2	55,5	26,53	53,9	28,2	51,4
8	25,59	64,1	25,75	64,7	25,25	59,4	26,24	59,4	23,32	58,1	23,14	61,5	20,93	49,1	21,33	49,9	21,99	50	23,02	51,9	26,95	53,5	28,2	50,9
9	26,24	61,9	25,45	68,8	25,2	61,8	25,24	58,9	22,83	60,8	23,23	55,3	20,94	52,3	20,97	52,1	21,79	56,9	23,3	51,3	27,49	51	26,97	57,2
10	26,32	63,4	25,57	65	25,46	64,1	25,04	62,5	22,15	62,3	22,3	54,3	21,69	55,4	21	52,1	22,26	57,3	24,22	53,2	28,03	48,1	26,16	60,2
11	25,87	64,5	25,92	63,2	25,51	63,7	25,16	59,9	22,27	58,9	22,17	56,4	22,1	52,6	20,97	48,9	22,56	52,4	25,17	52,4	28,24	47,3	25,19	64,5
12	25,81	65,2	26,27	62,7	25,82	61,9	25,57	58,2	22,1	57,7	21,74	59,7	21,67	57,4	21,65	54,4	23,12	51	25,61	51,8	28,21	48,8	24,52	60,7
13	25,53	62,5	27	61,4	26,09	57,8	25,66	60,9	22,56	60,8	21,67	55,3	20,96	55,4	21,83	54,8	23,35	58,5	25,62	50,9	28,53	47,6	24,42	62,4
14	24,25	72,6	26,94	60,6	25,94	55,1	25,77	58,2	22,56	65,4	21,53	63,1	21,1	50,5	22,04	57,1	23,46	61,7	24,33	57,1	28,83	45,8	24,8	62,6

15	24,03	72,4	26,35	63,3	25,94	61,2	26,28	59,8	22,49	66,7	21,96	59,5	20,9	52	21,44	52,6	22,95	58,6	23,15	56	27,84	47,9	24,49	66,1
16	24,7	65,3	25,9	65,2	26,62	65,3	26,04	61,8	22,16	65,6	21,93	55,8	20,49	53,1	20,87	57	21,84	54,2	22,88	52	27,4	47,9	24,3	63,6
17	24,8	69,9	25,39	66,8	27,19	59,1	24,9	57,8	22,17	62,9	21,22	57,6	20,3	54,2	20,37	59,3	21,67	56,5	23,55	49,8	27,04	38,8	24,92	63,1
18	25,32	69,3	24,95	68,4	27,02	58,8	23,18	46,6	22,61	59,3	21,53	59,1	20,57	56,8	20,05	52	22,03	54,5	24,4	55,2	26,66	41,5	25,16	60,2
19	25,66	70,9	24,85	68,3	27,36	58,1	22,15	52,1	22,98	58,9	21,48	55,8	20,91	56	20,03	49,5	22,43	48,9	25,41	54,6	26,31	43,1	25,06	59,6
20	26,08	66	24,72	70,2	27,66	59	21,93	58,9	23,08	58,3	21,27	56,1	21,11	51,1	20	49,3	22,7	54	26,35	43,2	25,64	40,2	25,02	57,2
21	26,38	64,5	24,75	67,8	28,11	59	21,86	58,5	23,46	55,9	21,42	54,7	20,43	54	20,08	52,9	22,91	59,9	26,36	44,1	25,86	40,3	26,03	54,1
22	27,28	61,6	24,95	62,4	28,07	59,6	21,89	63,3	23,7	57,3	21,81	55,7	20,38	56,9	20,07	66,6	23,57	59,4	25,53	52,9	26,08	46,8	26,7	56,3
23	27,68	59,4	25,28	68,1	28,33	50,9	22,73	70,4	23,49	57,2	22,11	53,2	20,55	56,9	20,48	56,2	24,35	54	25,69	52,6	25,83	48,6	26,71	59,4
24	27,77	57,5	25,33	64,8	28,27	53,9	23,36	70,3	23,05	54,9	21,44	53,7	20,65	57,7	20,66	57,8	24,48	50,9	25,93	56,9	25,54	48,4	26,71	61,3
25	27,64	53	24,7	66,3	26,58	58,8	23,5	69,5	23,33	55,8	21,08	51,6	20,69	52,9	21,24	56	24,35	52,5	25,5	51,3	25,49	50	27,1	58,2
26	27,78	53	24,7	66,7	26,07	58,7	23,75	64	23,7	55,7	20,7	56,1	20,65	52,1	21,69	51,4	24,27	50,9	25,79	57,8	26,07	52,6	27,3	57,9
27	27,98	50,7	25,21	62,9	26,7	58,4	24,38	62,5	24,23	58,7	20,76	56,2	20,4	51,2	22,11	49,9	23,78	52,3	25,67	57,2	26,71	54,1	27,1	56,5
28	27,77	49,8	25,17	65,6	26,39	63,4	25,15	59	24,38	54,9	21,03	58,8	20,05	52,3	22,35	52,9	23,64	50,5	24,78	55,4	27,31	61,9	27,35	54,1
29	27,57	52,8			26,51	60,2	25,4	60,9	23,24	60,8	20,8	62,3	20,66	59,3	23	58,2	24,22	50,7	24,13	56,5	28,19	57,1	27,22	57,3
30	27,3	55,4			27,35	58,3	25,34	63,1	22,71	60,1	20,17	60,5	20,93	50,1	23,07	56,8	24,62	50,4	24,41	49,4	28,65	57,7	26,62	59,4
31	27,41	58			27,76	59,8			23,09	60,1			20,86	49,5	23,39	51,7			24,47	46,6			26,06	56,6

Zone 3 : extrait des résultats de la simulation de l'EnergyPlus des données météorologiques arrondies

	Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin		Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		Décembre	
	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr
1	25,59	62,4	26,66	63,1	24,98	67,4	27,4	60,3	24,39	53,6	23,72	53,3	20,72	51,3	20,82	52,8	23,49	51,6	24,01	46	25	51,8	27,83	53,8
2	25,53	67	26,66	67,6	25,41	67	27,31	54,8	23,26	55,4	23,07	50,9	21,56	48,2	20,22	47,4	23,59	45,5	23,66	44,5	26,15	54,5	27,1	56,7
3	25,49	66,5	26,17	66,6	25,7	64,7	27,51	59,1	23	53	22,66	52,9	21,84	45,7	20,54	50,3	23,94	47,9	23,73	44,7	26,39	55,9	26,46	61,8
4	25,2	65,1	25,82	67	25,8	62,7	27,19	58,7	23,5	54	22,92	51,8	21,18	52,5	20,81	47,7	23,15	52,2	24,26	54,4	25,54	56,9	26,12	62,9
5	25,05	63,5	25,74	66,8	25,84	55,4	27,19	63,3	23,94	55,1	22,31	58,2	21,35	51,6	21,3	57,3	22,4	46,7	24,05	53,7	24,74	56,4	26,03	60,8

6	25,08	64,5	25,43	63,9	25,76	56,1	27,19	55,5	24,15	54,3	22,1	63,3	22,13	49,2	21,56	57,4	22,17	47	23,57	53,9	24,83	53,2	26,59	60,4
7	24,76	67,5	25,31	63,8	25,47	63,4	27,07	58,9	23,76	53,4	22,47	70,6	21,98	52,7	21,91	49,1	22,06	49,1	22,92	56,3	25,73	55,8	27,05	54
8	24,97	66,1	25,26	66,3	25,01	60,1	26,17	59,6	24,02	56	23,37	60,8	21,82	46,7	21,98	48	21,81	50,4	22,55	53,1	26,28	55,2	27,03	53,6
9	25,51	64,1	25,06	70,2	24,91	62,8	25,25	58,9	23,33	59,3	23,6	54,4	21,95	49,6	21,41	50,8	21,67	57,8	22,82	52,6	26,79	52,6	26,32	59
10	25,73	65,3	25,08	66,6	25,03	65,5	25,09	62,4	22,44	61,4	23,16	52	22,41	53,4	21,16	51,7	22,01	58	23,6	54,6	27,13	50	25,73	61,5
11	25,47	65,9	25,37	64,9	25	65,4	25,23	59,7	22,59	57,9	23,01	53,8	22,83	50,4	21,42	47,8	22,33	53	24,6	53,7	27,29	49,3	24,98	65,2
12	25,37	66,7	25,71	64,5	25,18	63,8	25,71	57,8	22,36	57,1	22,19	58,2	22,1	55,9	21,91	53,5	22,91	51,4	25,15	52,7	27,31	50,8	24,29	61,3
13	25,15	63,7	26,4	63,2	25,44	59,6	25,75	60,6	22,69	60,3	22,22	53,3	21,62	53,7	22,23	53,9	23,34	58,6	25,27	51,7	27,79	49	24,01	63,7
14	24,13	73,1	26,55	61,7	25,53	56,1	25,72	58,3	22,68	65	21,93	61,9	22,13	48,2	22,34	56,1	23,4	61,9	24,23	57,4	28,25	46,9	24,29	64,2
15	23,77	73,4	26,11	64,1	25,69	62	26,39	59,4	22,64	66,1	22,37	58,3	21,73	49,9	21,76	51,6	22,85	58,9	23,01	56,4	27,58	48,4	24,18	67,1
16	24,17	67,1	25,69	65,9	26,25	66,5	26,28	61,1	22,29	65	22,32	54,8	21,12	51,6	21,27	55,8	21,91	54,1	22,48	53,1	26,8	49,2	23,92	64,9
17	24,38	71,4	25,17	67,6	26,67	60,5	25,14	57,1	22,3	62,3	21,57	56,7	20,67	53,3	20,53	58,9	21,61	56,4	22,87	51,4	26,15	40,1	24,4	64,7
18	24,78	71,2	24,66	69,4	26,71	59,7	23,59	45,6	22,73	59	21,98	57,3	20,88	56	20,31	51,4	21,73	55,4	23,75	56,9	25,73	43,2	24,71	61,5
19	25,2	72,5	24,52	69,5	26,96	59,1	22,35	51,6	23,15	58,4	21,88	54,6	21,3	54,9	20,15	49,2	22,05	49,7	24,78	56,1	25,65	44,3	24,7	60,7
20	25,44	68,1	24,44	71,2	27,28	60	22,06	58,5	23,41	57,3	21,8	54,8	21,89	49,3	20,16	49	22,31	55,1	25,61	44,5	24,93	41,4	24,63	58,3
21	25,81	66,3	24,41	69	27,76	59,9	22,21	57,6	23,92	54,6	21,97	53,1	21,11	52,4	20,14	52,9	22,55	61	25,89	45	24,91	41,8	25,03	56,5
22	26,47	64	24,52	63,8	27,91	60	22,27	62,1	24,43	55,3	22,65	53,5	21,04	55,2	20,11	66,6	23,12	60,7	25,27	53,5	25,33	48,3	25,7	58,9
23	27,01	61,3	24,8	69,8	28,18	51,1	22,96	69,5	24,05	55,7	23,03	51	20,89	55,9	20,69	55,7	24	54,8	25,34	53,4	25,2	50	25,97	61,6
24	27,01	59,6	24,78	66,5	28,24	53,9	23,53	69,7	23,69	53,2	22,04	52	20,94	56,9	20,77	57,6	24,13	51,7	25,45	58,1	24,85	49,9	26,08	63,2
25	26,76	55,1	24,4	67,3	26,67	58,5	23,59	69,2	24,19	53,6	21,8	49,4	21,14	51,6	21,5	55,2	23,99	53,4	25,13	52,1	24,74	51,8	26,44	60,1
26	26,81	55,3	24,42	67,7	25,96	59	23,93	63,3	24,44	53,8	21,31	54,4	21,11	50,8	22,09	50,2	23,8	52	25,29	59,2	25,43	54,2	26,72	59,6
27	26,9	53	24,79	64,2	26,57	58,7	24,69	61,6	24,72	57,3	21,3	54,5	20,89	50,1	22,53	48,6	23,4	53,3	25,28	58,2	26,16	55,4	26,55	58
28	26,84	51,8	24,77	66,9	26,52	63	25,46	58,1	25,01	53,2	21,39	57,6	20,68	50,8	22,72	51,7	23,11	51,9	24,5	56,1	26,77	63,5	26,5	56,2
29	26,78	54,6			26,51	60,1	25,86	59,5	23,72	59,5	21,09	61,4	20,96	58,5	23,18	57,6	23,58	52,2	23,7	57,8	27,66	58,5	26,54	59,2
30	26,73	56,9			27,19	58,7	25,53	62,5	23,23	58,5	20,59	59,2	21,56	48,1	23,16	56,6	24,11	51,6	23,64	51,3	28,12	59,1	26,12	60,9
31	26,81	59,7			27,7	60			23,5	58,7			21,65	47,5	23,45	51,6			23,62	48,4			25,61	57,8

Zone 4 : extrait des résultats de la simulation de l'EnergyPlus des données météorologiques arrondies

	Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin		Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		Décembre	
	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr	Ta	Hr
1	25,59	62,4	26,33	64,1	24,73	68,3	26,76	62,2	23,4	56,2	22,61	56,2	19,73	54,2	19,69	55,7	22,6	53,8	23,46	47,2	25,14	51,5	27,54	54,5
2	25,24	68	26,27	68,9	25,13	67,9	26,72	56,4	22,38	57,9	21,72	54,2	20,51	52,1	19,07	50,1	22,82	47,3	23,06	45,8	26,17	54,5	26,59	58,1
3	25,2	67,5	25,68	68,2	25,38	65,7	26,85	61,1	22,21	55,2	21,46	56	20,74	48,8	19,34	53,2	23,19	49,7	23,25	45,8	26,04	56,8	26,02	63,1
4	24,83	66,3	25,41	68,4	25,45	63,8	26,46	60,8	22,56	56,4	21,86	54,6	20,02	55,5	19,47	50,8	22,4	54,3	23,84	55,6	24,93	58,7	25,71	64,2
5	24,71	64,5	25,35	68,2	25,52	56,2	26,58	65,2	23,08	57,4	21,59	60,2	20,48	55,1	20,25	60,1	21,64	48,5	23,47	55,1	24,17	58	25,71	61,7
6	24,7	65,6	25	65,3	25,39	57,1	26,7	56,8	23,36	56,5	21,48	65,3	21,03	51,8	20,67	60,6	21,45	48,8	22,96	55,4	24,68	53,6	26,42	60,9
7	24,34	68,9	24,98	64,8	25,01	64,8	26,5	60,5	22,81	56	21,83	72,9	20,84	55,6	20,96	51,8	21,15	51,2	22,34	57,9	25,69	56	26,84	54,5
8	24,77	66,7	24,87	67,6	24,55	61,5	25,51	61,6	23,09	58,7	22,57	63,2	20,82	49,2	20,98	50,9	20,82	52,8	22,12	54,5	26,04	55,9	26,77	54,2
9	25,32	64,8	24,57	71,9	24,48	64,1	24,57	60,9	22,53	61,7	22,57	57,1	21	51,8	20,36	54,1	20,9	59,5	22,63	53,1	26,64	53	25,74	60,7
10	25,41	66,3	24,75	67,6	24,65	66,7	24,48	64,3	21,91	63,5	22,03	55,2	21,61	55,6	20,15	54,2	21,37	60	23,53	54,9	26,86	50,6	25,29	62,9
11	25,06	67,2	25,14	65,7	24,62	66,7	24,58	61,6	21,83	60,1	21,93	57	21,98	52,8	20,27	50,4	21,61	55	24,6	53,7	27,05	49,9	24,45	67
12	25,06	67,6	25,47	65,3	24,82	65	24,95	60	21,51	59,5	21,52	60,6	21,4	58,4	21,04	56	22,27	53,2	25,05	53	27,04	51,5	23,81	62,9
13	24,74	64,9	26,23	63,7	25,05	60,8	24,96	62,9	22,04	62,5	21,54	55,4	20,7	56,1	21,41	56,1	22,62	60,7	24,99	52,4	27,67	49,4	23,61	65
14	23,56	75,3	26,26	62,6	25,16	57,2	25,04	60,2	22,16	66,8	21,29	64,4	21,06	50,6	21,52	58,7	22,6	64,4	23,61	59,2	28,18	47,1	23,95	65,3
15	23,42	74,7	25,77	65,2	25,4	62,9	25,9	60,9	22,18	67,9	21,59	60,5	20,84	52,1	20,94	53,7	22,03	61,3	22,43	58,1	27,06	49,7	23,73	68,6
16	24,03	67,6	25,2	67,5	25,98	67,3	25,62	63,1	21,98	66,6	21,24	57,6	20,25	53,8	20,49	58,1	21,25	55,7	22,09	54,2	26,23	50,4	23,59	66
17	24,12	72,4	24,65	69,3	26,39	61,2	24,34	59,4	21,97	63,7	20,67	59,4	19,87	55,4	19,74	61,3	21,03	58,6	22,7	51,9	25,69	40,9	24,22	65,3
18	24,6	71,9	24,2	71,1	26,36	60,7	22,52	48,1	22,18	60,6	21,24	59,7	20,09	58,2	19,28	54	21,21	56,9	23,62	57,4	25,41	43,9	24,47	62,3
19	24,89	73,6	24,15	70,8	26,64	60	21,76	53,1	22,39	60,6	21,08	56,8	20,45	57,4	19,11	51,7	21,63	50,8	24,83	56	25,35	44,9	24,35	61,7
20	25,23	68,7	24,07	72,6	26,98	60,9	21,44	60,3	22,59	59,7	21,05	56,4	20,75	51,9	19,08	51,6	21,83	56,4	25,59	44,5	24,55	42,1	24,29	59,3
21	25,62	67	24,11	70,1	27,53	60,6	21,3	60,2	23,02	57,1	21,27	54,9	20,01	55,1	19,14	55,5	22,04	62,5	25,7	45,4	24,74	42,2	24,9	56,8
22	26,36	64,4	24,26	64,6	27,49	61,3	21,54	64,3	23,49	57,9	21,55	56,4	20,15	57,6	19,33	69,2	22,82	61,6	24,76	54,9	25,15	48,8	25,52	59,5
23	26,8	62	24,44	71	27,61	52,4	22,45	71,5	23,07	58,5	21,66	54,3	20,1	58,1	19,84	58,4	23,71	55,6	25,08	54,1	24,74	51,1	25,69	62,5
24	26,75	60,3	24,36	67,8	27,52	55,7	23,16	71	22,69	55,8	20,87	55,7	20,15	59,2	19,79	60,4	23,61	53,1	25,09	59,2	24,39	51	25,78	64,2

25	26,36	56,2	23,98	68,8	25,75	61,2	23,19	70,6	23,02	56,6	20,78	52,2	20,26	54,4	20,68	57,5	23,42	54,9	24,8	53	24,4	52,7	26,21	60,8
26	26,53	56	24,13	68,7	25,33	60,8	23,55	64,6	23,21	57,1	20,28	57,3	20,07	53,7	21,3	52,2	23,16	53,7	24,92	60,2	25,36	54,4	26,48	60,3
27	26,67	53,6	24,58	64,9	26,21	59,7	24,25	62,9	23,75	60,1	20,46	57,1	19,76	52,8	21,71	50,8	22,76	54,9	25,01	58,9	26,14	55,5	26,2	59
28	26,6	52,5	24,43	68,1	25,94	64,9	24,82	59,9	23,91	56,1	20,6	60,7	19,46	53,8	22,06	53,7	22,44	53,5	23,95	57,7	26,76	63,5	26,24	56,9
29	26,47	55,5			25,98	61,7	25,14	61,7	22,71	62,5	20,3	63,8	20	62	22,62	59,3	23,2	53	23,12	59,5	27,72	58,3	26,27	59,9
30	26,42	57,8			26,68	60,1	24,72	65,1	22,41	61	19,78	61,7	20,58	51	22,5	58,6	23,71	52,6	23,38	51,9	27,93	59,7	25,72	62,1
31	26,52	60,5			27,18	61,4			22,74	61,3			20,51	50,6	22,69	53,4			23,21	49,3			25,13	59,2

BIBLIOGRAPHIE

Références bibliographiques :

- [1] **ADEME** (2008), *Améliorez le confort de votre maison*, l'isolation thermique, publication, 32 p.
- [2] **ANDRIANIAINA Harimalala Née RAZANAMANAMPISOA** (2007), *Modélisation de l'habitat type tsipoy du trano gasy vaovao dans la région d'Antananarivo, recherche de solutions passives*. Thèse de doctorat, université d'Antananarivo, 198 p.
- [3] **BOUMAUCHE NASR-EDDINE** (2013), *Prise en compte de l'humidité dans le projet de réhabilitation des maisons vernaculaires cas de la médina de Constantine*. Mémoire de Magistère, université Mentouri, Constantine, 370 p.
- [4] **COULIBALY Yézouma, THIOMBIANO Godefroy, TRAORE M. Yves** (1998), *CLIMAT ET CONFORT THERMIQUE*, **Sud sciences&Technologies**, n°2, p. 22 - 27
- [5] **Dr R. Cantin, B. Moujalled, Dr HDR G. Guarracino** (2005), *COMPLEXICITÉ DU CONFORT THERMIQUE DANS LES BÂTIMENTS*, article des chercheurs sus cités au 6^{ème} congrès Européen de Science des Systèmes, Paris 19-22 septembre 2005, Laboratoire des Sciences de l'Habitat, DGCB – URA CNRS 1652 – ENTPE, 10 p.
- [6] **HAMEL KHALISSA**, *CONFORT THERMIQUE*, première partie, Cours N°02, Université de BISKRA, Faculté de sciences et de la technologie, 56 p.
- [7] **HAMEL KHALISSA**, *CONFORT THERMIQUE*, deuxième partie, Cours N°02, Université de BISKRA, Faculté de sciences et de la technologie, 93 p.
- [8] **Ismael Moussa Benali** (2014), *CARACTERISATION DES ZONAGES CLIMATIQUES ET RECHERCHES DES SOLUTIONS PASSIVES AUX COMORES*, Thèse de doctorat, Université d'Antananarivo, 137 p.
- [9] **Nicolas. Tixiers**, (2003) *Conception thermique d'un habitat : rappels, stratégies*. - DEA Ambiances Architecturales et Urbaines, Éd. du 27/10/03, 8 p.
- [10] **Olivier MARC, Guillaume DANET, Frantz SINAMA, Franck LUCAS** (2010), *Modélisation dans l'environnement EnergyPlus et éléments de validation expérimentale d'une installation de rafraîchissement solaire couplée au bâtiment*, IUT Département Génie Civil 97410 Saint Pierre, Université de la Réunion, article de la Conférence IBPSA France – Moret-sur-Long, 13 p.

- [11] **RAKOTO Harry Angelo** (2012), *évaluation du confort thermique généré par des solutions passives : cas d'un bâtiment universitaire*. Mémoire de DEA, Université d'Antananarivo, 73 p.
- [12] **Rakoto Joseph O., David M., Garde F.**(2007), *Development of climatic zones and passive design principles in the housing sector for the island of Madagascar*, article dans **Solar World Congress SWC**, Vol 1, p 248-252.
- [13] **Rakoto-Joseph O., David M., Adelard L. Randriaamanantany Z.A.** (2009), *Development of climatic zones and passive solar design in Madagascar*, article dans **Energy Conversion and Management**, p.1004-1010.
- [14] **Y. Jeannot, T. Djiako** (1993), *ÉCONOMIE D'ÉNERGIE ET CONFORT THERMIQUE DANS L'HABITAT EN ZONE TROPICALE*, article révisé le 8 février 1993, Département Énergie pour le Développement Rural, École inter-États d'Ingénieurs, de l'Équipement Rural (E.I.E.R.), Burkina Faso, 8 p.

Référence webographique :

- [15] **Agence nationale de l'habitat**, *CONFORT THERMIQUE*, **Fiche Technique**, 8 p.

Site : www.anah.fr

- [16] **Claude Gabriel**, cours de climatologie,
disponible sur www.claudegabriel.be/Climatologie.pdf

- [17] **Jérôme CHOUDIN, Cédric MORICE, Nadjia KECHICH** (2003/2004), *AMBIANCE THERMIQUE – Notions de confort thermique*, Université de la méditerranée – DESS Prévention des risques et nuisances technologiques, Unité 5 : facteurs d'ambiance – M. ATHUYT , 52 p. disponible sur : «<http://www.santé-sécurité> »

- [18] **Saïd , Noha** (2010), *LA NOTION DE CONFORT THERMIQUE: ENTRE MODERNISME ET CONTEMPORAIN*, **Cours**, Ecole Nationale Supérieur d'Architecture de Grenoble, 60 p. **disponible sur Internet** <http://www.grenoble.archi.fr/etudes/cours-en-ligne-detail.php?ref=said-cours>