République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Université YAHIA Fares de MEDEA
Faculté de Technologie
Département de Génie Mécanique
Filière de Génie civil

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de master

En Génie civil

Option : Equipement de l'habitat

Thème

Etude du confort thermique dans un immeuble résidentiel

Présenté par :

Mr. KAIDI Youcef

Mr. MEREDEF Laid

Proposé et dirigé par :

Dr. CHIBA Younes

Année universitaire : 2017-2018

REMERCIEMENTS

Avant tout, on remercie Dieu tout puissant qui nous a mené jusqu'au bout du chemin et nous a éclairé la voie du savoir

On adresse également nos remerciements à notre encadreur Dr CHIBA Younes, qui nous a énormément aidés pour l'achèvement de ce travail, pour sa disponibilité, pour son suivi, ses nombreux conseils et ses critiques constructives.

Nous tenons aussi à remercier les membres du jury, qui ont accepté de porter leur apport. Leurs remarques, critiques, orientations et conseils nous seront très utiles pour une continuité dans le processus de recherche scientifique.

Nous remercions cordialement tout le personnel et les enseignants du département mécanique de Médéa pour leur disponibilité et encouragements tout au long de notre formation.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

À mes parents qui m'ont soutenu durant toutes ces années d'études et qui ont été toujours présent pour me pousser vers toujours plus d'efforts

À mes frères, ma sœur

À tous les membres de ma grande famille MEREDEF

À Mr KOUIDRI Saleh mon professeur à l'école primaire qui s'intéresse à moi et suis mon cours jusqu'à la fin.

À mes enseignants qui ont suivi mes études à l'université et à mentionner Pr ABUDARA, Dr CHIBA, Dr TRIKI, Dr ZIRARI, Dr KEZRANE.

À tout mes amis et à mentionner (Zoubir, Seif eddine, kamel, Tofik, Younes, Ahmed, Adel, Chamso, Choaibe, abdel salam, abdel kader,hakim)

Laid

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents pour leurs soutiens, encouragement

et leur sacrifice durant tout ma vie.

A mon frères et sœur.

A tout la famille KAIDI.

A mes chers binômes Laid.

A tous mes familles de mes binômes.

A tout mes amés

Atout mes amés et mes collègues de promotion 2017/2018

de la spécialité Génie civil - Médéa.

Atout mes collègues d'université de Médéa.

youcef

Résumé

L'objectif principal de ce travail est d'effectuer une appréciation de confort thermique des bâtiments. Pour ce faire, le document technique réglementaire de l'Algérie (DTR) a été utilisé pour évaluer les apports thermiques à travers les parois opaques végétalisées ainsi, l'effet des paramètres thermo physiques sur les occupants a été étudié à travers le modèle de FANGER et la norme mondial du confort. Un questionnaire enquêtant sur le confort thermique pour répondre à la problématique a été établi au sein de la bibliothèque de la faculté de technologie de l'université de Médéa. Le logiciel SPSS a été utilisé pour analyser les échantillons étudiés. Les résultats obtenus incluant le modèle de FANGER et les normes du confort sont analysés et discutés.

Mots clés : Confort thermique, DTR, FANGER, Analyse SPSS.

Abstract

The main objective of this work is to assess the thermal comfort of buildings. To do this, the settling technical document of Algeria (DTR) was used to evaluate the thermal inputs through the vegetated opaque walls as well , the effect of the thermo physical parameters on the occupants was studied through the FANGER model and the global standard of comfort. A questionnaire investigating thermal comfort to answer the problem was established in the library of the Faculty of Technology of the University of Medea. SPSS software was used to analyze the samples studied. The results obtained including the FANGER model and comfort standards are analyzed and discussed.

Keywords: Thermal comfort, DTR, FANGER, SPSS Analysis.

ملخص :

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تقييم الراحة الحرارية للمباني. للقيام بذلك ، تم استخدام الوثيقة التقنية التنظيمية للجزائر (DTR) لتقييم المدخلات الحرارية من خلال الجدران المعتمة النباتية، كذلك تم دراسة تأثير المعايير الفيزيائية الحرارية على الأشخاص من خلال نموذج فونجر والمعايير العالمية للراحة. تم إنشاء استبيان يدرس الراحة الحرارية للإجابة على المشكلة في مكتبة كلية التكنولوجيا في جامعة المدية. تم استخدام برنامج SPSS لتحليل العينات التي تمت دراستها. النتائج التي تم الحصول عليها تم تحليلها ومناقشتها بما في ذلك نموذج فونجر ومعايير الراحة.

الكلمات المفتاحية : الراحة الحرارية ، DTR، فونجر ، برنامج SPSS

Nomenclature

Symboles	Notations principales
A_c	Surface cutanée participant aux échanges thermiques convectifs (m^2)
A_d	Surface de DuBois, surface cutanée totale (m^2)
$A_{d,cl}$	Surface corporelle de l'Homme vêtu (m^2)
A_e	Surface cutanée qui évapore parce qu'elle est mouillée (m^2)
A_r	Surface cutanée participant aux échanges thermiques radiatifs (m^2)
C	Flux convectif (W) ou (W. m^2)
C_{res}	Flux convectif de chaleur échangée par convection respiratoire (W) ou (W. m^2)
E	Flux évaporatoire (W) ou (W. m^2)
E_{res}	Flux évaporatoire échangé par évaporation pulmonaire (W) ou (W. m^2)
f_{cl}	Rapport de la surface externe d'échange de l'Homme vêtu sur celle de l'Homme nu
F_{cl}	Facteur de modulation des échanges de chaleur sèchelié à l'isolement vestimentaire
h_c	Coefficient d'échange de chaleur par convection (W. m^{-2} . K^{-1})
h_e	Coefficient d'échange de chaleur d'évaporation (W. m^{-2} . KPa^{-1})
h_r	Coefficient d'échange de chaleur par rayonnement (W. m^{-2} . K^{-1})
I_{cl}	Isolement thermique du vêtement (K . m^2 . W^{-1})
K	Flux conductif (W) ou ($W.m^{-2}$)
M	Activité métabolique (W) ou ($W.m^{-2}$)
M_{O2}	Consommation d'oxygène ($L \cdot min^{-1}$)
M_{CO2}	Production de dioxyde de carbone ($L \cdot min^{-1}$)
Pa_{H2O}	Pression partielle de vapeur d'eau ambiante (KPa)
Psk_{H2O}	Pression saturante de vapeur d'eau à la température cutanée T_{sk} (KPa)
R	Flux radiatif de chaleur (W) ou ($W.m^{-2}$)
T_{cl}	Température de la surface externe du vêtement (K) ou (^oC)
T_a	Température de l'air (K) ou (^oC)
T_{eq}	Température équivalente (K) ou (^oC)
T_g	Température de globe noir (K) ou (^oC)
T_o	Température opérative (K) ou (^oC)
T_r	Température moyenne de rayonnement du milieu environnant (K) ou (^oC)
T_{sk}	Température moyenne de peau (K) ou (^oC)

v_a	Vitesse de l'air ambiant ($m \cdot s^{-1}$)
v_{ar}	Vitesse de l'air résultant du climat et des mouvements à l'intérieur de ce climat ($m \cdot s^{-1}$)
w	Travail fourni à l'extérieur de l'organisme (W) ou ($W \cdot m^{-2}$)
σ	Constante de Stefan-Boltzmann ($5,67\ W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$)
ε_{sk}	Emissivité cutanée

SOMMAIRE

Introduction général……..……...1

Chapitre I : Bilan thermique

I.1 Introduction……3
I.2.3 Les Apports calorifiques……3
I.2.3.1 Apportes à travers les parois opaques……..……3
I.2.3.2 Parois aériennes…….……3
I.2.3.2.1 Différence de température équivalente Δ te(t)……4
I.2.3.3 Parois intérieures……6
I.2.3.4 Parois en contacte avec le sol…….6
I.2.3.5 Apports à travers les parois vitrées……8
I.2.3.6 Apports des chaleurs internes……...10
I.2.3.7 Gains dus aux occupants……..…10
I.2.3.9 Gains dus à l'éclairage……11
I.2.3.10 Apports de chaleur par introduction d'air extérieur……11
I.2.3.11 Débit d'air neuf……12
I.2.3.11.1 Débit d'air du aux infiltrations……12
I.2.4 Vérification réglementaire……13
I.2.4.1 Apports de référence des parois opaques horizontales……13
I.2.4.2 Apports de référence des parois opaques verticales……13
I.2.4.3 Apports de référence des parois vitrées……14
I.3 la végétation……15
I.3.1 Typologie végétale……15
I.3.2 Structure des feuilles……15
I.3.3 Types et formes de feuilles……16
I.3.4 Différents types de végétaux ……16
I.3.5 Les murs végétalismes……17
I.3.5.1 Intérêts des murs végétalismes……18
I.3.5.2 Impact acoustique……18
I.3.5.3 Lutter contre la pollution de l'air……18
I.3.5.4 Diminution de la chaleur en ville……19
I.3.4.6 Effet thermique des murs végétaux……20

I.3.4.7 Autres avantages liés aux murs végétaux……20
I.4 Conclusion……..….21

Chapitre II : Le confort thermique

II.1 Introduction……...22
II.2 Notion de confort……22
II.3 Impact les paramètres de l'environnent sur le confort……23
II.3.1 Confort et température……23
II.3.2 Confort et humidité……24
II.3.2.1 L'incidence sur la transpiration……24
II.3.2.2 L'impact de l'humidité relative dans un bâtiment……25
II.3.2.3 La plage de confort température-humidité……26
II.3.3 Confort et vitesse de l'air……27
II.3.4 Confort activité et habillement……30
II.3.4.1 L'estimation du niveau d'habillement……30
II.3.4.2 L'évaluation du niveau d'activité……30
II.4 Effets thermique d'un corps humain……31
II.4.1 Effet dû à la conduction……31
II.4.2 Effet du a la convection……31
II.4.3 Effet dus a la radiation……32
II.4.4 Effet de du a l'humidité……34
II.4.5 Effet métabolique……35
II.4.6 Effet vestimentaire……36
II.5 Bilan globale……37
II.5.2 Echanges par convection respiratoire (C_{res})……37
II.5.3 Echanges par évaporation respiratoire (E_{res})……38
II.6 Méthodes actuelles pour atteindre le confort thermique……38
II.6.1 Modèle de GAGGE ……38
II.6.2 Modèle de FANGER……...…39
II.6.3 Paramètres influant le confort thermique……39
II.6. Calcul des indices de confort PMV et PPD……..40

Chapitre III : Logiciel SPSS

III.1 Introduction……41
III.2 Options SPSS……41
III.3 Fonctionnalités……43
III.4 Objectifs……43
III.5 Utilisation……44
III.6 Qu'est-ce que SPSS……44
III.7 Démarrage de SPSS…… 45
III.8 L'éditeur de donnés……..…46
III.8.1 Affichage des données……47
III.9 Définition d'une variable et de ses propriétés……48
III.9.1 Vue des variables……48
III.10 Enregistrement des données……52
III.11 Informations compactes sur les variables dans un fichier de données……53
III.12 Les différentes fenêtres de SPSS…….54
III.12.1 Fenêtre de données (Data editor)……54
III.12.2 Fenêtre des résultats (output editor)…….54
III.12.3 Voici les règles générales pour écrire des commandes dans SPSS…….56
III.13 Menu graphs : Refaire le graphe du cours…….56
III.14 Menu help…….57
III.15 Quitter SPSS…….58
III.16 Les inconvénients…….……...59

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV. Introduction……60
IV.1 Partie 01 : Faire une comparaison entre les murs ordinaires et les murs constitués d'une couche végétale……..…60
IV.1.3 Les caractéristiques géométriques…….……61
IV.1.4 Les caractéristiques surfaciques…….……61
IV.1.5 Les températures……61
IV.1.6 K_{me} (K du mur double cloison simple)……..…61
IV.1.7 Calcul des apports calorifiques……..…62
IV.1.7.1 Apportes à travers les parois opaques……...62

IV.1.7.2 Parois intérieures……63
IV.1.7.3 Parois en contacte avec le toit……63
IV.1.7.4 Apports à travers les parois vitrées……64
IV.1.7.5 Apports des chaleurs internes……66
IV.1.7.6 Apports de chaleur par introduction d'air extérieur……67
IV.1.8 Vérification réglementaire……68
IV.1.8.1 Les apports calorifiques de référence……68
IV.1.8.2 Apports de référence des parois opaques horizontales……68
IV.1.8.3 Apports de référence des parois opaques verticales……79
IV.1.8.4 Apports de référence des parois vitrées……79
IV.1.8.5 K_{me} (K du mur double cloison simple constitué une couche végétale)……71
IV.2 Partie 02 : Effets thermique d'un corps humain (femme et homme)……72
IV.2.1 Effet dus a la convection……74
IV.2.2 Effet dus a la radiation……75
IV.2.3 Effet dus a l'humidité HR 60% ……77
IV.2.4 Effet dus a convection respiratoire et évaporation respiratoire……78
IV.2.5 Bilan globale……79
IV.3 Partie 03 : Application de modèle FAGER (le cas d'un étudient a la bibliothèque en été)……81
IV.3.1Les paramètres……82
IV.4 Partie 04 : Analyse du questionnaire de confort thermique……86
IV.4.1 Question 1……89
IV.4.2 Question 2……90
IV.4.3 Question 3……91
IV.4.4 Question 4……92
IV.4.5 Question 5……93
IV.4.6 Question 6……94
IV.4.7 Question 7……95
IV.4.8 Question 8……96
IV.4.9 Question 9……97
IV.4.10 Question 10……98
IV.4.11 Question 11……99
IV.4.12 Question 12……100

IV.4.13 Question 13……..…..…101
IV.4.14 Question 14……..……..102
IV.4.15 Question 15……...…103
IV.4.16 Question 16……..…. 104
IV.4.17 Question 17……...…….105
IV.4.18 Conclusion……106
Conclusion général……..…107
Bibliographie……...108
Annexe……110

Liste des Tableaux :

Tableau I.1 : Valeurs des coefficients d'échange superficiel…….……04
Tableau I.2: Rayonnement de base……...…….…05
Tableau I.3 : valeurs de Zlim (en m)…….……07
Tableau I.4: C_{ros} en fonction de la zone climatique……10
Tableau I.5. : Gains dus aux occupants……...……10
Tableau I.6: Valeurs de Ccr……11
Tableau II.1 : Réactions observées en fonction de la vitesse résiduelle de l'air……...……27
Tableau II.2 : Vitesse de l'air et refroidissement équivalent…….……28
Tableau II.3 : Vitesse des vents suivant l'échelle de Beaufort……...…29
Tableau II. 4 : Valeurs de clo pour différents habillements……...…30
Tableau II . 5 : Valeurs de met pour différents activité……..……30
Tableau II. 6 : métabolisme d'activité……..…36
Tableau IV.1: La résistance thermique d'un mur double cloison……..…62
Tableau IV.2 : APO(t) externe……..…63
Tableau IV.3: APO(t) interne……..…63
Tableau IV.4: APO(t) toiture……64
Tableau IV.5: APO(t)……64
Tableau IV.6: AVT(t)……..…66
Tableau IV.7 : AVE(t)……..…66
Tableau IV.8 : AI(t)…….……67
Tableau IV.9 :Qvinf…….……67
Tableau IV.10 : AINFSs et ARENs……..…67

Tableau IV.11 : AINFS i et AREN i……68
Tableau IV.12 : La somme tout les apports……68
Tableau IV.13 : A réf PH……68
Tableau IV.14 : $A_{réf}$,PV……69
Tableau IV.15 : $A_{réf}$,PVI……70
Tableau IV.16 : $A_{réf}$ de S.R $2^{ém}$ étage……70
Tableau IV.17 : résultat de vérification de $2^{éme}$ étage S.R……70
Tableau IV.18 : La résistance thermique du mur double cloison avec couche végétale……71
Tableau IV.19 : APO (t) nouveau……71
Tableau IV.20 : le nouveau résultat des sommes les apports calorifique……71
Tableau IV.21 : Gain de poids et talle avec l'âge……72
Tableau IV.22: les valeurs d'effet du a la convection……74
Tableau IV.23 : les valeurs d'effet du a la radiation……76
Tableau IV.24 : Tableau : les valeurs d'effet du a l'humidité……77
Tableau IV.25 : les valeurs des Cres et E res……78
Tableau IV.26 : Les valeurs de bilan globale……79
Tableau IV.27 : les valeurs des change thermique a l'âge 20 an pour femme……80
Tableau IV.28 : les valeurs des change thermique a l'âge 20 an pour l'homme……84
Tableau IV.29 : les échanges thermiques, bilan globale et équilibre [(M-W)-B]……85
Tableau IV.30 : ages des étudiants……86
Tableau IV.31 : Poids des étudiants participant……87
Tableau IV.32 : sexe de personne……87
Tableau IV.33 : Tailles des étudiants participant……88
Tableau IV.34 : les réponses à la 1^{ér} question……89
Tableau IV.35 : les réponses à la 2^{éme} question……90
Tableau IV.36 : les réponses à la 3^{éme} question……91
Tableau IV.37 : les réponses à la 4^{éme} question……92
Tableau IV.38 : les réponses à la 5^{éme} question……93
Tableau IV.39 : les réponses à la 6^{éme} question……94
Tableau IV.40 : les réponses à la 7^{éme} question……95
Tableau IV.41 : les réponses à la 8^{éme} question……96
Tableau IV.42 : les réponses à la 9^{éme} question……97
Tableau IV.43 : les réponses à la 10^{éme} question……98
Tableau IV.44 : les réponses à la 11^{éme} question……99

Tableau IV.45 : les réponses à la 12éme question……100
Tableau IV.46 : les réponses à la 13éme question……101
Tableau IV.47 : les réponses à la 14éme question……102
Tableau IV.48 : les réponses à la 15éme question……103
Tableau IV.49 : les réponses à la 16éme question……104
Tableau IV.50 : les réponses à la 17éme question……105
Tableau IV.51 : Maximum et moyenne (âge, poids et taille) ……..…105

Liste des figures :

Figure I.1: Zone d'apports pour des parois en contact avec le sol……7
Figure I.2 : Forme et type de feuilles (Source : Microsoft Encarta 2007)……...16
Figure I.3 : La vigne vierge (source: Wikipédia)……17
Figure II.1 : PPD des personnes au repos et des personnes en travail léger…….……23
Figure II.2 : Diffusion de chaleur entre l'individu et l'ambiance……..…24
Figure II.3 : Taux d'humidité ambiante optimale (Scofield et Sterling)……...…25
Figure II.4 : Diagramme d'humidité……..…26
Figure IV.1 : La surface cutanée en fonction la taille……...……73
Figure IV.2 : La surface cutanée en fonction le poids……...…73
Figure IV.3 : Effet du a la convection en fonction la température de l'air……...75
Figure IV.4 : effet dus a la radiatif en fonction Tr ……..…76
Figure IV.5 : effet dus la humidité en fonction pression de vapeur d'eau……78
Figure IV.6 : bilan globale en fonction l'âge……79
Figure IV.7 : Pourcentage des changes thermique pour femme a l'âge 20 ans……80
Figure IV.8 : Pourcentage des changes thermique pour l'homme a l'âge 20 ans……..…81
Figure IV.9 : Les échanges thermiques……..…81
Figure IV.10 : pourcentage des échanges thermique……84
Figure IV.11 : Les charges thermiques ……84
Figure IV.12 : PPD en fonction PMV……...…85
Figure IV.13 : l'âge de personne……..86
Figure IV.14 :La réponse la plus interactive (sensibilité normale)……...…89
Figure IV.15 : La réponse la plus interactive (sensibilité normale)……..…90
Figure IV.16 : La réponse la plus interactive (vous travaillez mieux)……..…91
Figure IV.17 : La réponse la plus interactive (bonne)……..92
Figure IV.18 : La réponse la plus interactive (naturelle)……...…93

Figure IV.19 : La réponse la plus interactive (chaud)……..…94
Figure IV.20 : La réponse la plus interactive (acceptable)……...……95
Figure IV.21 : La réponse la plus interactive (chaud)……...96
Figure IV.22 : La réponse la plus interactive(chaud)……98
Figure IV.23 : La réponse la plus interactive (neutre)……..99
Figure IV.24 : La réponse la plus interactive (neutre)……100
Figure IV.25 : La réponse la plus interactive (trop importante)…….101
Figure IV.26 **:** La réponse la plus interactive (ni sec ni humide)……**...**102
Figure IV.27 : La réponse la plus interactive (confortable)……103
Figure IV.28 : La réponse la plus interactive (acceptable)……..…104
Figure IV.29 : La réponse la plus interactive (oui)…….……105

Introduction générale

La problématique du confort thermique dans le bâtiment n'est pas nouvelle. Socrate, déjà, évoquait au Ve siècle avant J.-C. l'intérêt de bien orienter les pièces à vivre de sa maison au soleil de midi, afin de profiter des apports solaires gratuits en hiver et conserver une atmosphère intérieure plus fraîche en été, lorsque le soleil est haut. Ce n'est toutefois que récemment, au cours du XXe siècle, que la problématique de confort thermique dans les bâtiments à été étudier de manière approfondie par les nombreux scientifiques. Ceci est grandement dû à l'accroissement de proportion de personnes travaillant dans des environnements clos. HALDANE en 1905, YAGLOGLOU en 1923, mais surtout FANGER dans les années 1970 ont notamment contribué à l'évolution de ces connaissances, et certains de leurs travaux sont encore utilisés aujourd'hui. Ces derniers ont permis de déterminer quels paramètres influencent le confort thermique. Des critères de conception ont ainsi pu être déterminés, et compilés dans différentes normes, afin que les solutions techniques retenues garantissent un confort maximal aux occupants des bâtiments [1].

La thermique du bâtiment est l'ensemble des sciences et techniques visant à étudier les besoins énergétiques des bâtiments. Elle aborde principalement les notions d'isolation thermique et de ventilation afin d'offrir le meilleur confort thermique aux occupants.

Le confort thermique dans le bâtiment prend un grand intérêt vu son impact sur la qualité des ambiances intérieures, la santé et la productivité de l'occupant. En thermique du bâtiment, deux méthodes sont souvent utilisées pour apprécier le confort thermique. Une méthode statistique et une méthode déterministe basée sur le calcul de la charge thermique du corps humain [2].

Les normes et méthodes actuelles en matière de confort thermique portent principalement sur les conditions de confort thermique dans des conditions stables. La plupart des études du confort thermique ont été menées en laboratoire et sont basées sur des évaluations du transfert thermique entre les êtres humain et leur environnement ainsi que des conditions physiologiques requises pour un confort thermique. Les méthodes les mieux connues et les plus largement acceptées sont l'indice de confort thermique PMV proposé par FANGER, (FANGER 1972) , et le modèle à deux nœuds de thermorégulation humaine de J.B. Pierce , (GAGGE 1973 et GAGGE et al., 1986). Plusieurs normes de confort thermique stable ont été établies sur base de ces modèles [3].

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

personne, l'activité physique (production de chaleur par le corps) et son habillement. Pour l'environnement la température de l'air et ses fluctuations, le rayonnement thermique, l'humidité, la vitesse de l'air, la température des objets avec lesquels la personne est en contact[4].

Le travail se compose de quatre chapitres organisés de la façon suivante : Dans le premier chapitre sera divisé en deux parties, expliquer dans la première partie le contenu du document sur lequel estimer le bilan thermique, le DTR (Document technique réglementaire).Dans la deuxième partie, nous examinerons la végétation en générale et les murs végétaux en particulier.

Dans le deuxième chapitre, il sera consacré au confort thermique, dans lequel nous aborderons les notions de confort et l'impact des facteurs environnementaux, également dédié aux différents types des effets thermique sur l'humain. Le modèle de FANGER est une dimension des modèles adoptés pour atteindre le confort thermique et ce modèle utilise plusieurs indicateurs. C'est ce que nous allons expliquer dans ce chapitre.

Dans le troisième chapitre, nous allons définir et expliquer comment fonctionne le programme SPSS.

Dans le quatrième chapitre, nous l'attribuerons pour expliquer et discussion des résultats. Ce chapitre sera divisé en quatre parties, la première partie que nous allons présenter une comparaison entre les murs ordinaires et les murs végétalisé en utilisant le DTR. La deuxième partie va calculer les effets thermiques des hommes et des femmes, la troisième partie nous appliquerons le modèle de FANGER à un étudient de la bibliothèque, la quatrième partie nous analyserons le questionnaire de confort thermique en utilisant SPSS.

CHAPITRE N°I

BILAN THERMIQUE

I.1 Introduction

Ce chapitre est divisé en deux parties, tel que dans la première partie nous présentons le DTR avec explication de ses équations en bref. Dans la deuxième partie nous discuterons de l'effet thermique des plantes en générale et de son efficacité à réduire le bilan thermique. Ainsi, des différents approches de calcul pour estimer le bilan thermique hivernal (chauffage), estivale (climatisation) sont présentés.

Le Document Technique Réglementaire (DTR) à pour objet de fixer :

- les méthodes de détermination des apports calorifiques des bâtiments.
- la méthode de vérification de la conformité à la réglementation thermique d'été des bâtiments.

La norme DTR s'appliquent aux locaux : à usage d'habitation, d'hébergement (chambres collectives, dortoirs, salles de repos etc.). À usage de bureaux d'enseignement (classes, salles d'études etc.) d'accueil (bibliothèques, bureaux de poste, banques etc.) de réunion (salles de spectacle, lieux de culte etc.) de vente (boutiques, supermarché etc.) de restauration (café, restaurant, cantine etc.) à usage artisanal (salon de coiffure, laboratoire de boulangerie, petit atelier, etc.).

I.2 Les apports calorifiques

I.2.1 Apportes à travers les parois opaques

I.2.1.1 Parois aériennes

Les parois opaques aériennes sont celles qui sont en contact direct avec l'air extérieur (parois verticales ou horizontales). Le calcul est mené en régime variable. Pour estimer le flux à un instant donné pour une paroi en contact avec l'extérieur, on a recours à la notion de différence de température équivalente notée $\Delta te(t)$. La différence de température équivalente à un instant donné est une différence de température fictive qui produirait au même instant, en régime permanent, le même apport de chaleur dans le local que celui produit par le régime variable.

Les apports de chaleur à travers une paroi opaque à un instant t, APO(t), sont donnés par la formule suivante [5]:

$$APO(t)=Z\times K_{été}\times S_{int}\times \Delta te(t) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (I\text{-}1)$$

- **Z** (Z=1.2) : Coefficient majoration tenant compte des apports latéraux linéiques (à travers les ponts thermiques).
- $\mathbf{K_{été}}$ (W/m². °C) : Coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée pour l'été.

- **S_{int}** (m^2) : Surface intérieure totale de la paroi considérée ; pour les toitures en pente, on prendra la projection horizontale de la surface.

- **Δ te(t)** : (°C) Différence équivalente de température à l'heure t.

Le coefficient Kété des parois opaques est donné par la formule suivante :

$$\frac{1}{K_{été}} = \sum R + \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(I-2)}$$

- **R** ($m^2.C°/W$) : Représente la somme des résistances thermiques des différentes couches de matériaux constituant la paroi.

- $\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$ ($m^2.C°/W$) : Représente la somme des résistances d'échange superficiel Prise (tableau 1).

Tableau 1 **:** Valeurs des coefficients d'échange superficiel[5].

$\frac{1}{h}$ en $m^2.°C/W$	Paroi en contact avec : - l'extérieur, - un passage ouvert, - un local ouvert.			Paroi en contact avec : - un autre local, conditionné ou non conditionné, - un comble, - un vide sanitaire.		
	$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$	$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$
Latéral (Mur) $\alpha > 60°$	0,10	0,04	0,14	0,10	0,11	0,21
(toiture) $\alpha \leq 60°$	0,16	0,04	0,20	0,16	0,17	0,33
(plancher)	0,08	0,04	0,12	0,08	0,09	0,17

I.2.1.1.1 Différence de température équivalente Δ te(t)

La différence de température équivalente Δte(t) instantané est donnée par [5] :

- Paroi ensoleillée

$$\Delta te(t) = \Delta tes(t) + C_{\Delta te} + \alpha/0.9 \times [\Delta tem(t) - \Delta tes(t)] \times I_{t,b} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(I-3)}$$

- Paroi à l'ombre 24h/24

$$\Delta te(t) = \Delta tes(t) + C_{\Delta te} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(I-4)}$$

-**Δtes(t)** (°C) est la différence de température équivalente à l'heure t en considérant que la paroi est à l'ombre.

- **C Δte** (°C) est un facteur de correction dû, d'une part, à la différence maximale ΔTS max de la température sèche de l'air entre l'extérieur et l'intérieur pour le mois considéré,

et d'autre part à l'écart diurne de base Eb pour le mois considéré.

- **α** est le facteur d'absorption de la paroi.

- **Δtem(t)** (°C) est la différence équivalente de température à l'heure t pour l'orientation de la paroi considérée.

- **It,b** (W/m²) est le rayonnement total de base pour le mois, la latitude et l'orientation considérés.

- **It,b(40)** (W/m²) est le rayonnement total de base pour le mois de Juillet, la latitude 40° Nord et pour l'orientation considérée.

Le rayonnement total de base, It,b (en W/m²), correspond aux apports de chaleur maxima, non amortis, dus au rayonnement solaire à travers un vitrage de référence dans les conditions de référence.

Le rayonnement diffus de base, Id,b (en W/m²), correspond aux apports de chaleur non amortis dus au rayonnement solaire à travers un vitrage de référence à l'ombre (c'est à dire pour la direction Nord) dans les conditions de référence.

Les valeurs de rayonnement solaire diffus de base sont données dans le tableau 2 :

Tableau 2: Rayonnement solaire de base[5].

Rayonnement total de base $I_{t,b}$ et diffus de base $I_{d,b}$ (en W/m²)										
Latitude Nord	Mois	ORIENTATION								
		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Horiz.
20°	Juillet	59	435	514	267	44	267	514	435	791
	Août	34	372	520	356	81	356	520	372	788
	Septembre	31	273	514	441	205	441	514	273	733
30°	Juillet	50	413	516	315	94	315	516	413	776
	Août	34	340	520	406	198	406	520	340	741
	Septembre	28	284	498	479	330	479	498	284	668
40°	Juillet	47	400	516	394	217	394	516	400	734
	Août	34	321	511	459	321	459	511	321	675
	Septembre	28	183	470	511	441	511	470	183	577

➢ La différence de température équivalente Δ te(t) peut être positive (apports dans le local considéré), ou négative (déperditions). Dans le cas où la différence de température équivalente est négative, on n'en tiendra pas compte dans les calculs.

➢ Le facteur d'absorption α des parois extérieures est donné ci-après selon que la paroi est peinte ou non.

➢ Le facteur d'absorption α d'une paroi extérieure peinte est donné en fonction de la couleur de la face extérieure de la paroi :

✓ face extérieure de couleur sombre (bleu foncé, rouge foncé, brun foncé), α = 0,90.

✓ face extérieure de couleur moyenne (vert clair, bleu clair, gris clair), $\alpha = 0,70$.

✓ face extérieure de couleur claire (blanc, crème), $\alpha = 0,50$.

✓ face extérieure de couleur noire mat, $\alpha = 1$.

I.2.1.2 Parois intérieures

➢ Les apports de chaleur à un instant t, APO(t), traversant une paroi opaque en contact avec deux locaux conditionnés sont donnés par la formule suivante [5]:

$$APO(t)= K_{été} \times S_{int} \times [TS_a - TS_{b,i}] \quad \ldots\ldots\ldots\ (I\text{-}5)$$

- **$K_{été}$:** (W/m².°C) est le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée.
- **S_{int} :** (m²) est la surface intérieure de la paroi considérée.
- **TS_a :** (°C) est la température sèche de l'air intérieur du local adjacent.
- **$TS_{b,i}$:** (°C) est la température sèche de l'air intérieur du local considéré.

Les apports de chaleur à un instant t, APO(t), traversant une paroi opaque en contact avec un local non conditionné sont donnés par la formule suivante :

$$APO(t)= K_{été} \times S_{int} \times \Delta tInc(t) \quad \ldots\ldots\ldots\ (I\text{-}6)$$

- **$K_{été}$:** (W/m². °C) est le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée.
- **S_{int} :** (m²) est la surface intérieure de la paroi considérée.

- **Δtlnc :** (°C) représente l'écart de température entre l'espace non conditionné et le local considéré est donné par la formule suivante :

$$\Delta tInc(t) = [(TSe(t) - C_{lnc}) - TS_{b,i}\ ] \quad \ldots\ldots\ldots\ (I\text{-}7)$$

- **$TS_e(t)$:** (°C) est la température extérieure sèche à l'instant considéré.
- **C_{lnc} :** (°C) est un coefficient correcteur.
- **$TS_{b,i}$:** (°C) représente la température intérieure du local conditionné.

I.2.1.3 Parois en contacte avec le sol

➢ Les apports par transmission à travers les parois en contact avec le sol sont calculés en fonction de la différence de niveau z. La différence de niveau z est [5] :

- pour un plancher, la différence comptée positivement entre le niveau de la face supérieure du plancher et le niveau du sol (voir figure 1).
- pour un mur enterré, la différence comptée positivement entre le niveau du sol et le niveau considéré du mur.

➢ Les apports par transmission pour une paroi en contact avec le sol, plancher ou mur enterré, sont considérés comme nuls au delà de $z = z_{lim}$ ($z > z_{lim}$) dont les valeurs sont données dans le tableau 3.

Tableau 3 : valeurs de Zlim(en m) [5].

Valeurs de Zlim						
Température du Local conditionné	Zones climatique					
	A	B ,C	B' <500m	D1	D2	D3
24	3.8	5.4	6.6	7.8	9.4	5.8
25	3.4	5.0	6.2	7.4	9.00	5.4
26	3.00	4.6	5.8	7.00	8.6	5.00
27	2.6	4.2	5.4	6.6	8.2	4.6

➢ Les apports a travers un plancher en contacte aves le sol n'ont lieu que sur une bande de largeur égale à 5 mètres. Comptée à partir de périmètre interier.au delà de cette bande les apports par transmission sont considérés comme nuls.

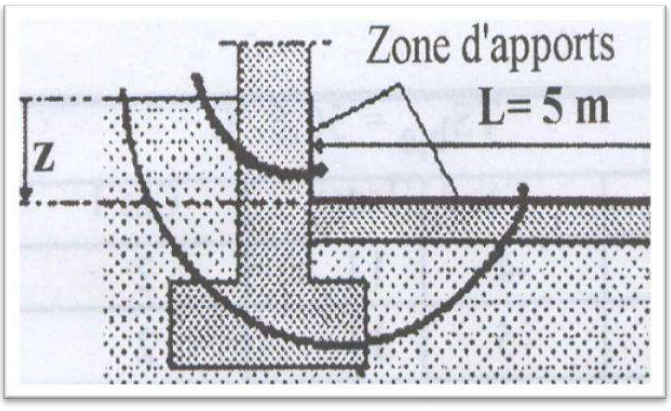


Figure 1: Zone d'apports pour des parois en contact avec le sol.

➢ Les apports APO à travers une paroi en contact avec le sol sont donnée par :

$$APO(t) = K_{été} \times S_{app}(TS_m - TSb_{b,i}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(I-8)}$$

- $\mathbf{K_{été}}$ (en W/m².°C) est le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée .
- $\mathbf{S_{app}}$ (en m²) est la surface de la zone d'apports.
- $\mathbf{TS_m}$ (en °C) est la température moyenne sèche de l'air extérieur.
- $\mathbf{TS_{b,i}}$ (en °C) est la température sèche de l'air intérieur du local considéré.

➢ dans le cas ou les valeurs déterminées à l'aide de la formule précédente sont négatives, on n'en tiendra pas compte dans les calculs.

I.2.2 Apports à travers les parois vitrées

➢ Les apports à travers les parois vitrées intérieures AVT(t) sont dus uniquement à la différence de température de part et d'autre de la paroi. Ils sont donnés par [5]:

$$APO(t)= K_{été}\times S_{ouv}\times[TS_e(t) - {}^{C}lnc)-TS_{b,i}] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(I-9)}$$

- **$K_{été}$** (en W/m². °C) est le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée.
- **Souv** (en m²) est la surface de l'ouverture dans la paroi opaque.
- **$TS_e(t)$** (en °C) est la température extérieure sèche à l'heure t.
- **C_{lnc}** est un coefficient correcteur.
- **$TS_{b,i}$** (en °C) est la température intérieure sèche de base pour le local considéré.

➢ Les gains à travers les parois vitrées extérieures AV(t) sont donnés par :

$$AV(t)= AVT(t)+ AVE(t) \quad \ldots. \text{(I-10)}$$

AVT(t) (en W) représente les gains dus au gradient de température à travers les parois vitrées,

➢ Les gains dus au gradient de température AVT(t) à travers les parois vitrées extérieures sont donnés par :

$$AVT(t)= 1.2\times K_{été}\times S_{ouv}\times[TS_e(t)-TS_{b,i}] \quad \ldots. \text{(I-11)}$$

- **$K_{été}$:** (en W/m². °C) est le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée.
- **S_{ouv} :** (en m²) est la surface de l'ouverture dans la paroi opaque.
- **$TS_e(t)$:** (en °C) est la température extérieure sèche à l'heure t.
- **$TS_{b,i}$:** (en °C) est la température intérieure de base.

➢ Les gains dus au rayonnement solaire à travers les parois vitrées extérieures AVE(t) sont donnés par :

$$AVE(t)= [SV_{ens} \times I_t + (SV - Sv_{ens}) \times I_d]\times FS\times N_{PVI}(t) \quad \ldots\ldots \text{(I-12)}$$

- **SV :** (en m²) est la surface totale vitrée.

- **SV_{ens} :** (en m²) est la surface vitrée ensoleillée.

- **SV – Sv_{ens} :** (en m²) est la surface vitrée à l'ombre.

- **I_t :** (en W/m²) est le rayonnement total maximal réel.

- **I_d :** (en W/m²) est le rayonnement diffus maximal réel.

- **$N_{PVI}(t)$:** représente le coefficient d'amortissement relatif aux gains par ensoleillement à travers les parois vitrées l'heur t considérée.

-**FS :** est le facteur solaire du vitrage.

Le rayonnement total maximal réel I_t et le rayonnement diffus maximal réel I_d sont donnés par :

$$I_t = [C_{cadre} \times C_{limp} \times C_{alt} \times C_{ros}] \times I_{t,b} \quad \text{.....(I-13)}$$

$$I_d = [C_{cadre} \times C_{limp} \times C_{alt} \times C_{ros}] \times I_{d,b} \quad \text{.. (I-14)}$$

-**C_{cadre} :** Coefficient tenant compte de la nature du cadre.

-**C_{limp} :** Coefficient tenant compte de la limpidité de l'atmosphère.

-**C_{alt} :** Coefficient tenant compte de l'altitude.

-**C_{ros} :** Coefficient tenant compte de la valeur du point de rosée.

-**$I_{t,b}$ et $I_{d,b}$:** (en W/m²) sont les rayonnements total et diffus de base .

Le coefficient de correction C_{cadre} est donné ci-après :

C_{cadre} = 1,17 pour un cadre métallique.

C_{cadre} = 1 pour un cadre en bois, ou en PVC.

Le coefficient de correction C_{limp} est donné ci-après:

C_{limp} = 1 pour une atmosphère limpide ; on pourra adopter une atmosphère limpide en zone rurale, hors agglomération (oasis, hameaux, etc.).

C_{limp} = 0,92 pour une atmosphère peu limpide ; on pourra adopter une atmosphère peu limpide pour les zones suburbaines, les zones résidentielles des villes.

C_{limp} = 0,87 pour une atmosphère obscure ; on pourra adopter une atmosphère obscure pour le centre des grandes villes, les zones industrielles, à proximité d'industries polluantes.

Le coefficient de correction C_{alt} est obtenu en augmentant sa valeur de 0,7% par 300m en prenant C_{alt}=1 pour l'altitude 0 (par exemple, si l'altitude est égale à 349 m,(C_{alt} =1,007).

Le coefficient de correction C_{ros} est donné dans le tableau 4 en fonction de la zone climatique :

Tableau 4: C_{ros} en fonction de la zone climatique [5].

Zones		C_{ros}	Zones		C_{ros}
A	alt < 500 m	0,99	B'	alt < 500 m	1,05
	500 ≤ alt < 1000 m	1,02		alt ≥ 500 m	(zone B)
	alt ≥ 1000 m	1,02	C	alt < 1000 m	1,10
B	alt < 500 m	1,03		alt ≥ 1000 m	1,10
	500 ≤ alt < 1000 m	1,05	D1		1,15
	alt ≥ 1000 m	1,07	D2		1,19
			D3		1,20

I.2.3 Apports des chaleurs internes

Les apports de chaleur internes AI(t) à l'instant t sont donnés par la formule [5]:

$$AI(t)=\sum_j (CS_j \times AI_{s.j} \times N_{Al.j}) + (\sum_j (CS_j \times AI_{l.j}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(I-15)}$$

- **$AI_{s.j}$:** (en W) représente la partie sensible de l'apport interne j.
- **$AI_{l.j}$:** (en W) représente la partie latente de l'apport interne j.
- **CS_j :** est le coefficient de simultanéité relatif à l'apport interne j ; en l'absence d'une formation.
- **$N_{Al.j}$:** est le coefficient d'amortissement relatif à l'apport interne j.

I.2.4 Gains dus aux occupants

➢ Les gains internes pour un occupant sont donnés dans le tableau (5) [5]

Tableau 5 : Gains dus aux occupants[5]

Degré d'activité	Exemple d'application	Température sèche du local (°C)									
		28		27		26		24		21	
		Apports sensibles (Sen) et latents (Lat) en W/pers.									
		Sen	Lat	Sen	Lat	Sen	Lat	Sen	Lat	Sen	Lat
Assis, repos	Classe, salle de spectacle	51	51	57	45	62	40	67	35	76	27
Assis, travail très léger	Logement, bureau, hôtel, amphithéâtre	52 52	79 94	58 58	73 88	63 64	69 83	71 74	60 72	83 85	49 62
Debout, marche	Magasin, accueil	60	102	66	96	72	91	82	80	93	70
Travail léger	Atelier, usine	56	164	64	156	72	148	86	134	107	113
Travail assez pénible	Atelier, usine, salle de sport	79	214	88	205	97	197	112	181	135	158
Travail pénible	Atelier, usine, salle de sport	131	293	136	288	142	283	154	271	177	248

I.2.5 Gains dus à l'éclairage :

➢ Les appareils d'éclairage constituent une source de chaleur sensible.

➢ Si l'on connaît la puissance installée pour l'éclairage, les gains dus à l'éclairage sont donnés par la formule suivante [5]:

$$AI = \sum Wn \times C_{me} \times C_{cr}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(I-16)}$$

- **W_n :** (en W) est la puissance nominale de l'ampoule ou du tube fluorescent.

- **C_{me} :** est un coefficient de majoration, il est égal à :

1,2 pour les lampes à incandescence. 1,25 pour les tubes fluorescents.

- **C_{cr} :** est le pourcentage de chaleur résiduelle correspondant à la part d'énergie restant dans la sale :

$C_{cr} = 1$ pour les installations dont l'éclairage n'est pas raccordé à un système d'extraction d'air, est donné dans le tableau 6 quand l'éclairage est raccordé à un système d'extraction d'air :

Tableau 6: Valeurs de Ccr [5]

Débit d'air pour 100 W de puissance de lampe ou de tube (m^3/h)	20	30	50	100
C_{cr}	0,6	0,5	0,4	0,35

I.2.6 Apports de chaleur par introduction d'air extérieur

Les apports de chaleur dus à l'introduction de l'air extérieur sont considérés comme une source de chaleur latente et sensible [5].

On distingue :

➢ Les apports dus aux infiltrations qui interviennent directement dans le bilan du local; ces apports sont à associer au débit d'infiltrations qvinf.

Les apports dus à l'introduction d'air neuf qui interviennent dans le bilan calorifique total; on associe à ces apports le débit d'air neuf q_{Van} .

➢ Les gains sensibles dus au renouvellement de l'air ARENs et dus aux infiltrations AINFs sont donnés par les formules données ci-après :

$$ARENs\ (t) = 0{,}320 \times qv_{an} \times (TSe(t) - TSb,i) \quad \ldots\ldots\ldots \text{(I-17)}$$

$$AINFs\ (t) = 0{,}320 \times qvi_{nf} \times (TSe(t) - TSb,i) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(I-18)}$$

- **0,320** : (en J/m^3C°) représente le produit de la chaleur spécifique de l'air (1004 J/ kg. °C) par la masse volumique de l'air (1,15 kg/m^3) et par un facteur de conversion (1/3600).
- **qvan** : (en m3/h) représente le débit d'air neuf.
- **qvinf** : (en m3/h) représente le débit dû aux infiltrations.
- **TSe(t)** : (en °C) représente la température sèche de l'air extérieur.
- **TSb,i** : (en °C) représente la température sèche de l'air intérieur.

➢ Les gains latents dus au renouvellement de l'air ARENi, et dus aux infiltrations AINFi sont donnés par les formules données ci-après :

$$ARENi = 0{,}797 \times qvan \times Max.\,[(HSbe - HSb,i) ; 0] \quad \cdots\cdots\cdots (I\text{-}19)$$

$$AINFi = 0{,}797 \times qvinf \times Max.\,[(HSb,e - HSb,i) ; 0] \quad \cdots\cdots\cdots (I\text{-}20)$$

- **0,797** (en $J.kg_{air}$ / $g_{vap}.m^3_{air}$) représente le produit de la masse volumique moyenne de l'air (1,15 kg/m^3) par la chaleur de vaporisation de l'eau (2498 J/g) et par un facteur de conversion (1/3600).
- **qvan** (en m^3/h) représente le débit d'air neuf.
- **qvinf (**en m^3/h) représente le débit dû aux infiltrations.
- **HSbe** (en Jg air/g vap.m3 air) représente l'humidité spécifique de base de l'air extérieur.
- **HSb,i** (en J.kg air/g vap.m3 air) représente l'humidité spécifique de base de Pair intérieur .

On utilisera le diagramme psychrométrique pour transformer l'humidité relative (en : %) et humidité spécifique (en g vap/ kg air).

I.2.7 Débit d'air neuf

I.2.7.1 Débit d'air du aux infiltrations

➢ Pour un local donné, le calcul du débit d'infiltration doit être effectué comme suit :

Le calcul est mené selon la direction du vent ; les directions du vent à considérer doivent être les directions perpendiculaires aux façades et les directions obliques par rapport aux façades.

➢ Le débit dû aux infiltrations qvinf en (m/h) pour un local est donné par :

$$qvinf = \sum (qvO\inf .i \times Souv.i) \quad \cdots\cdots\cdots (I\text{-}21)$$

- **qvOinf.i : (**en m^3 /h.m^2) désigne le débit d'infiltration correspondant à l'ouvrant i considéré, les valeurs de qvOinf doivent être fournies soit par le fabricant, soit par l'Avis.
- **Souv.i :** (en m^2) désigne la surface de l'ouverture dans la paroi pour l'ouvrant i.

En général, les valeurs de qvOinf fournies par le fabricant (ou l'Avis Technique) correspondent à des directions de vent perpendiculaires à la paroi. Dans le cas où le fabricant (ou l'Avis Technique) ne fournit pas d'informations concernant la valeur de qvOinf pour une direction de vent oblique, pour la déterminer, on multipliera par 0,60 la valeur de qvOinf correspondant à un vent perpendiculaire [5].

I.3 Vérification réglementaire

La somme des apporte Calorifiques par les parois vitrées et les parois opaques aériennes doit vérifier au mois de Juillet à 15 h TSV, pour cela il ya la relation suivante [5]:

$$APO\ (15\ h) + AV\ (15\ h) \leq 1{,}05\ .\ A_{réf}\ (15\ h) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (I\text{-}22)$$

Les apports calorifiques de référence $A_{réf}$ sont donnés par :

$$A_{réf} = A_{réf,PH} + A_{réf,PV} + A_{réf,PVI} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (I\text{-}23)$$

- **$A_{réf,PH}$:** (en W) désigne les apports calorifiques de référence à travers les parois opaques horizontales.

- **$A_{réf,PV}$:** (en W) désigne les apports calorifiques de référence à travers les parois opaques verticales .
- **$A_{réf,PVI}$:** (en W) désigne les apports calorifiques de référence à travers les parois vitrées .

I.3.1 Apports de référence des parois opaques horizontales

Les apports calorifiques de référence des parois opaques horizontales $A_{réf,PH}$ sont calculés par la formule suivante [5]:

$$A_{réf,PH} = \sum (a \cdot S_{int} \cdot \Delta TS_{réf,PH}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (I\text{-}24)$$

- **a :** (en W/m².°C) est un coefficient lié à la nature de la construction et fonction de la zone climatique .
- **S_{int} :** (m^2) la surface de la paroi horizontale comptée de l'intérieur.
- **$\Delta TS_{réf,PH}$:**(°C) est la différence de température de référence pour les parois horizontal

I.3.2 Apports de référence des parois opaques verticales

Les apports calorifiques de référence des parois opaques verticales $A_{réf,PV}$ sont calculés par la formule suivante [5]:

$$A_{réf,PV} = \sum (c\ .\ S_{int}\ .\Delta TS_{réf,PV}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (I\text{-}25)$$

- **c :**(en W/m².°C) est un coefficient lié à la nature de la construction et fonction de la zone climatique.
- **S_{int} :** (m^2) désigne la surface de la paroi verticale comptée de l'intérieur.
- $\Delta TS_{réf,PV}$ **:**(en °C) est la différence de température de référence pour la PV.

I.3.3 Apports de référence des parois vitrées

Les apports de référence pour les parois vitrées sont donnés par la somme des apports de référence de chaque paroi vitrée [5].

$$A_{réf,\ PVI} = AVE_{réf} + AVT_{réf} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(I-26)}$$

- **$AVE_{réf}$:** (en W) désigne les apports de référence dus à l'ensoleillement
- **$AVT_{réf}$:** (en W) désigne les apports de référence dus au gradient de température.

Les apports de référence dus à l'ensoleillement à travers une paroi vitrée $AVE_{réf}$ sont donnes par :

$$AVE_{réf} = [SV_{ens} \cdot I_t + (SV - SV_{ens.}) \cdot I_d]\ FS_{réf} \cdot\ N_{PVI,réf} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(I-27)}$$

- **SV :**(en m²) est la surface totale vitrée.
- **SV_{ens} :**(m^2) est la surface vitrée ensoleillée à 15 h TSV.
- **I_t :** (en W/m²) est le rayonnement total maximal réel pour l'orientation et la latitude considérées.
- **I_d :** (en W/m²) est le rayonnement diffus maximal réel.
- **$FS_{réf}$:** le facteur solaire de référence.
- **$N_{PVI,réf}$:** le coefficient d'amortissement relatif aux gains de référence des parois vitrées pour l'orientation considérée.

Les apports de référence dus au gradient de température à travers une paroi vitrée $AVT_{réf}$ sont donnés par :

$$AVT_{réf} = e' \cdot S_{ouv} \cdot \Delta\ TS_{réf,\ PVI} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(I-28)}$$

- **e' :** (en W/m².°C) est un coefficient relatif à la nature des locaux .
- **S_{ouv} :(m^2) :** est la surface d'ouverture dans le mur.
- **$DTS_{réf,PVI}$:** (en °C) est la différence de température de référence des parois vitrées**[**5].

I.4 la végétation

L'émergence des préoccupations environnementales en ces dernières années a suscité des études plus approfondies sur la demande énergétique des bâtiments, liée principalement aux systèmes de conditionnement des ambiances. En effet, la plantation adéquate d'arbres ou de plantes grimpantes autour d'un bâtiment et sur les structures telles que des pergolas est nécessaire pour une stratégie de refroidissement ou de chauffage passive efficace.

Quand cette stratégie est correctement appliquée, le recours aux procédés conventionnels peut être grandement réduit. En plus de leur rôle modérateur de l'îlot de chaleur urbain et de modification locale du microclimat urbain, les surfaces végétalismes affectent également le climat intérieur des bâtiments. Par ailleurs, quand la température de l'air à proximité des bâtiments est abaissée, l'intérieur des bâtiments sera plus facile à climatiser ceci d'une part d'autre part, le végétal peut également offrir une isolation thermique en hiver en choisissant la typologie adéquate toujours dans un souci d'économie d'énergie et du confort des occupants [6].

I.4.1 Typologie végétale

Les différents types de végétaux peuvent se distinguer grâce à la morphologie de leurs feuilles (forme, types et disposition des feuilles [6].

I.4.1.1 Structure des feuilles

Les feuilles sont des organes constitués de cellules qui contiennent des chloroplastes (dans lesquels se réalise la photosynthèse), dont la position est ajustée de façon que la plus grande surface possible soit exposée au soleil. Des vaisseaux conducteurs de sève apportent l'eau et les sels minéraux ou emportent les produits de la photosynthèse. Les ouvertures, appelées stomates, pores grâce auxquels la plante réalise les échanges gazeux sont nécessaires à la respiration et à la photosynthèse.

La plupart des feuilles sont vertes, couleur due à un pigment, la chlorophylle. Cependant, toutes les feuilles ne sont pas vertes. La coloration automnale des feuilles est le résultat de la décomposition de la chlorophylle [6].

I.4.1.2 Types et formes de feuilles :

Les diverses morphologies et dispositions des feuilles sont généralement utilisées aux fins d'identification et de classification des plantes. On distingue deux grands types de feuille : les feuilles simples, au limbe unique, non divisé, par exemple la feuille de chêne, de l'érable ou du houx; et les feuilles composées, au limbe constitué de folioles telles que celles de trèfle du marronnier ou du frêne.

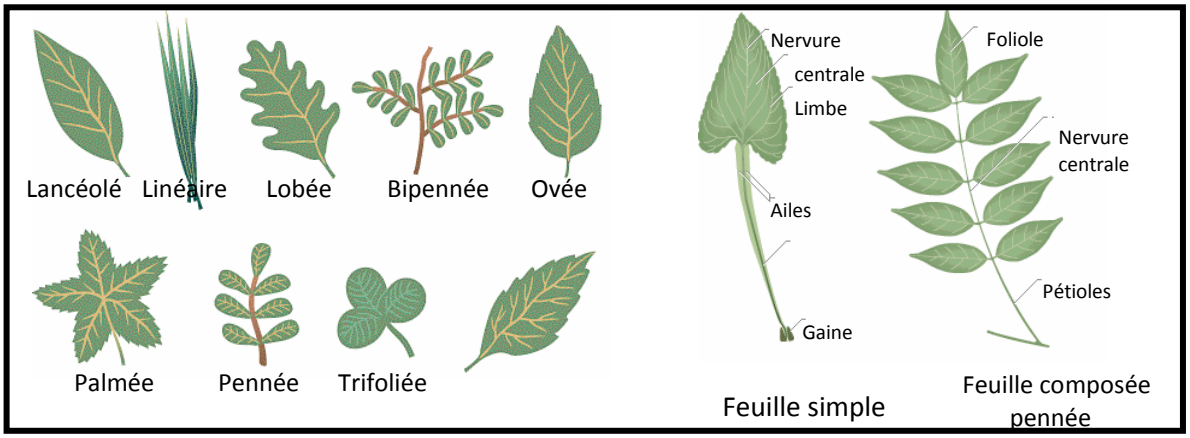


Figure 2 : Forme et type de feuilles

Le limbe des feuilles simples peut présenter multiples formes : oblong (dans le cas du cerisier, plus large vers l'extrémité de la feuille que du côté du pétiole), en forme de cœur comme c'est le cas de la violette, sagitté, c'est-à-dire en forme de pointe de flèche, lancéolé (en fer de lance), lobé (portant des échancrures), à bord lisse ou denté, etc. Les principales formes et morphologies de feuilles sont représentées dans la figure 1 [6] .

I.4.2 Différents types de végétaux

La végétation peut se trouver sous différentes formes : pelouses, prairies, haies, arbres et plantes grimpantes :

La pelouse : est un tapis étendu plus ou moins régulier.

La prairie : est un écosystème en grande partie dépourvue d'arbre, couverte de végétation basse continue.

Les haies : correspondent à des écrans de verdure destinés à protéger, à limiter ou à séparer qui peuvent être taillées ou libres.

Les arbres : sont des plantes à fleurs ligneuses, qui peuvent être utilisée pour l'alignement c'est à dire des plantations sur voie, ou limites diverses, ils se développent ainsi sur tous types de sol et peuvent être classifiés selon trois critères : la dimension et la densité.

Plantes grimpantes : tels que le bourreau des arbres (celastrus orbiculatus), la glycine Aristoloche siphon, Bignone à grandes fleurs, Jasmin de virginie, Vigne, Vigne vierge à 5 feuilles, Volubilis. Elles s'enroulent autour des supports et conviennent particulièrement aux pergolas [6].



Figure3 : La vigne vierge

I.4.3 Les murs végétalismes

A travers l'histoire, le mur végétalisé, appelé aussi jardin vertical ou mur vert, a été longtemps employé autant que les toits végétalisés pour l'esthétique ou pour contrôler les climats extérieurs et intérieurs. Autrefois, les romains ont introduit, les arbres aux mausolées et les Vikings ont revêtu leurs murs et toits avec du gazon. Au 16 et 17ème siècle les jardins verticaux ont été employés en Inde, en Mexique et dans les maisons espagnoles. Au 18ème siècle, cette technique s'est développée en Russie, en France, notamment dans d'autres pays d'Europe. Le concept de mur végétalisé se rapporte aux plantes grimpantes accroissant sur une paroi verticale. Cette végétation peut être colée directement sur des murs qui doivent être rugueux, ou placé à une certaine distance à l'aide d'une structure. Pour pouvoir bien implanter un mur végétal, favoriser son plein potentiel et sa longue durée de vie, il faut considérer plusieurs facteurs, soit : la surface à couvrir, le mécanisme de préhension des plantes, leur développement et leur taille à l'âge adulte, et les variables climatiques. On peut ainsi les faire grimper sur différentes structures : murs de bâtiments, arches, pergolas, et autres constructions architecturales. Concernant la végétalisation de surface de bâtiment, les études portent en général sur les toitures-terrasses et peu sur les murs [7].

I.4.3.1 Intérêts des murs végétalismes

L'idée de créer des murs végétalismes ou murs végétaux a progressivement fait son chemin. Cette tendance est principalement venue d'Allemagne où dès le début des années 70, des artistes et des architectes ont décidé de soutenir cette idée de construire des bâtiments plus respectueux de l'environnement. Des politiques d'encouragement pour la réalisation de façades vertes s'en sont suivies. Ainsi, entre 1983 et 1997, près de 250 000 m² de façades vertes ont été installées dans la capitale allemande. Cette démarche s'est ensuite propagée en Europe et dans le monde [7] .

I.4.3.2 Impact acoustique

Dans les villes, les populations sont, en raison du manque de place, de plus en plus souvent logées à proximité de grands axes routiers les exposant à la pollution sonore.

La végétalisation verticale peut donc constituer un axe important dans la lutte contre cette pollution sonore. Ce que l'on sait depuis longtemps, c'est que la présence au sol de végétaux en milieu urbain diminue de façon significative la pollution sonore. Plusieurs expériences ont été menées pour arriver à cette conclusion : la présence de végétation peut conduire à une réduction du bruit pouvant atteindre 20 dB selon la nature et la disposition de la végétation. Cette réalité à conduit à se demander si les murs végétalismes présentent également des intérêts acoustiques. En fait, cela dépend de la fréquence du bruit qui atteint le mur et également de la nature des végétaux installés mais d'une manière générale, le mur végétais grâce à son pouvoir d'absorption et de diffusion permet de réduire le bruit jusqu'à 10 dB. Cette réduction a essentiellement été mesurée pour les faibles et moyennes fréquences.

Cependant, en raison de son coût élevé par rapport à des moyens plus traditionnel, le mur végétalisé ne doit pas être choisi uniquement pour ses vertus acoustiques. Par contre, il peut être préconisé en intérieur pour assurer la discrétion d'une salle de réunion [7].

I.4.3.3 Lutter contre la pollution de l'air

Grâce aux parties végétatives des plantes qui constituent le mur végétalisé, ce dernier est capable de fixer ou d'absorber des particules et de nombreux polluants nocifs pout l'homme mais également des pollens allergènes. Une façade verte a le pouvoir de bloquer plus facilement le mouvement de ces particules le long d'un bâtiment. En effet, lorsque le béton, la brique, la pierre ou le verre sont chauffés pendant les mois d'été, des mouvements verticaux

délai sont créés et les particules de poussière, de saleté et de pollution qui se trouve sur le terrain et dans l'air se propagent. Grâce au mur végétalisé, les particules peuvent être en partie adsorbées ou piégées par les parties végétatives ou les micro-organismes présents dans le substrat ou par les éléments constitutifs de ce dernier. En effet, les Précipitations peuvent permettre l'infiltration de certaines substances dans le support de culture . Les plantes représentent également un puits de carbone et permettent ainsi de stocker le CO2. Cette capacité et ce potentiel a d'ailleurs été mesurée et mis en évidence sur une toiture-terrasse. Ainsi, les murs végétaux peuvent contribuer à diminuer les problèmes de santé de type respiratoire mais également à ralentir le processus de vieillissement des façades des bâtiments en luttant contre la corrosion due à la pollution [7].

I.4.3.4 Diminution de la chaleur en ville

Des recherches ont démontré qu'il existe un potentiel non négligeable de réduction de la température de l'air ambiant dans les îlots de chaleur urbains lorsque les enveloppes des bâtiments ainsi que leur toit sont recouvertes de végétation. Au plus le climat est chaud et sec, au plus l'effet de la végétation sur les températures en milieu urbain est important. Il a d'ailleurs été démontré que les murs végétaux étaient de meilleurs candidats que la toiture végétale pour créer un microclimat rafraichissant dans les espaces urbains étroits. A l'échelle de la ville, la combinaison des murs végétalisés et des toits végétalisés permettent en fait d'agir encore plus efficacement sur la température en ville. Quand les murs végétalisés sont associés à des toitures végétalisées, ils permettent une diminution sensible de la température relevée. Appliqué à un îlot urbain, un microclimat est créé. Appliqué à toute une ville, la température diminue de façon plus globale [7].

Le phénomène de refroidissement est fortement lié à l'évapotranspiration des plantes et du substrat constituant le milieu de culture :

- Type de plante : diversification de la palette végétale.
- Exposition des plantes et du mur.
- Climat (sec/humide).
- Vitesse du vent.
- Humidité du substrat et gestion de l'arrosage.

I.4.4 Effet thermique des murs végétaux

Plusieurs études ont soulignées l'effet des murs végétaux sur les températures de surface des bâtiments qu'ils recouvrent. Elles démontrent qu'ils ont tendance à les diminuer par rapport à une façade témoin, vierge de toute végétalisation [8].

Il a également été relevé que plusieurs paramètres influençaient le gain d'énergie observé. Ils sont regroupés autour de trois mécanismes fondamentaux :

- l'interception des rayons solaire par l'effet d'ombre mis en place par la végétation :
- Densité du feuillage (nombre de couches) .
- Répartition homogène du feuillage sur l'ensemble de la surface porteuse.
- l'isolation thermique fournit par la végétation et le substrat :
- Densité du feuillage (nombre de couches).
- Mouvement d'air dans l'espace intermédiaire.
- Effet de barrière contre le vent.
- Substrat : épaisseur, densité et humidité.
- la variation de l'effet du vent sur les façades du bâtiment :
- Orientation de la façade.
- Direction et vitesse du vent.
- Densité du feuillage (nombre de couches).

I.4.5 Autres avantages liés aux murs végétaux

1 - Ils protègent les murs de la pluie de l'air ambiant grâce à la disposition en tuile des feuilles des végétaux. Une étude a démontré cette capacité sur le lierre, mais il existe d'autres espèces végétales susceptibles d'offrir la même protection. D'ailleurs, il est préconisé de toujours avoir recours à une mixité des espèces dans la conception de murs végétaux.

2 - Dans le cas de murs végétalismes avec substrat, les eaux de pluies peuvent être épurées, et L'écoulement des eaux de toiture est alors fortement ralenti ce qui diminue la quantité d'eau à évacuer dans les villes dans le cas de fortes pluies. Ils peuvent donc être préconisés comme solution, tout comme les toitures végétales, dans des programmes visant le zéro rejets des EP dans le réseau urbain et le traitement des eaux EP in-situ.

De plus, cette connexion entre les évacuations d'eau de pluies et les murs végétaux peuvent réduire l'apport d'eau d'irrigation nécessaire à la croissance et au développement des plantes.

Un système bien étudié pourrait aller jusqu'à l'autonomie complète en eau des murs végétaux.

3 - Une étude réalisée au Canada a démontré le pouvoir déstressant des murs végétaux sur les employés d'un building dans lequel était installé un mur végétal. D'ailleurs, le mur testé a démontré ses capacités à dépolluer l'air intérieur du bâtiment [16].

I.5 Conclusion

Les Documents Techniques Réglementaires (DTR) font partie des rares outils qui représentent la réglementation thermique en Algérie, ce sont des instruments plus ou moins complets qui précisent les règles de conception à suivre pour parvenir à une consommation énergétique rationnalisée. Sur le terrain, et bien que les DTR aient fait l'objet d'approbations par arrêtés ministériels, les professionnels du bâtiment ne sont pas jusqu'à présent contraints à s'y conformer. Les seuls documents généralement exigés lors du dépôt du permis de construire, sont ceux qui concernent le dossier architectural et l'étude de génie civil [9].

Les murs végétaux jouent un rôle important dans le maintien de bilans thermique, car elle permet de crée un microclimat en agissant comme masque au soleil, au vent, au son et comme source d'humidité et régulation de la température de l'air et des surfaces environnantes.

CHAPITRE N°II

LE CONFORT THERMIQUE

II.1 Introduction

Le confort thermique est défini comme un état de satisfaction du corps vis-à-vis de l'environnement thermique. Il est caractérisé par les six paramètres suivants :

- Le métabolisme, qui est la production de chaleur interne au corps humain permettant de maintenir celui-ci autour de 36,7 °C. Un métabolisme de travail correspondant à une activité particulière s'ajoute au métabolisme de base du corps au repos.
- L'habillement, qui représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement.
- La température ambiante de l'air Ta.
- La température moyenne des parois Tp.
- L'humidité relative de l'air (HR), qui est le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température Ta et la quantité maximale d'eau contenue à la même température.
- La vitesse de l'air, qui influence les échanges de chaleur par convection. Dans le bâtiment, les vitesses de l'air ne dépassent généralement pas 0,2 m/s [10].

Dans ce chapitre nous allons essayer de définir le concept de confort thermique et sa relation avec le paramètre de l'environnement, et nous ajoutons aussi différents les échange thermique d'un corps humain, nous montrons aussi différent type des indices de confort thermique et enfin comment appliquer modèle de FANGER.

II.2 Notion de confort

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

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

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

- Le bilan thermique de l'individu est équilibré sans que ses mécanismes autorégulateurs ne soient trop sollicités.
- il n'existe pas d'inconforts locaux dus :
  - à la sensation de courant d'air.

- à l'asymétrie du rayonnement.
- au gradient vertical de température.
- à la température du sol [11].

II.3 Impact les paramètres de l'environnent sur le confort

II.3.1 Confort et température

Le confort est assuré par un équilibre entre l'homme et l'ambiance. Dans les conditions habituelles, l'homme assure le maintien de sa température corporelle autour de 36,7°C. Cette température est en permanence supérieure à la température d'ambiance, aussi un équilibre doit-il être trouvé afin d'assurer le bien-être de l'individu [10].



Figure 1 : PPD des personnes au repos et des personnes en travail léger [10].

La figure 1 expliqué le sentiment de confort thermique exprimé par les sujets eux-mêmes. Il s'agit de pourcentages prévisibles d'insatisfaits (PPD), exprimés sur l'axe vertical, pour des personnes au repos en position assise (celle qui font la sieste au bureau, par exemple), ou pour des personnes effectuant un travail léger (travail de bureau).

Il est impossible de définir une température qui convienne à tous : il reste au mieux 5 % d'insatisfaits.

Il est intéressant de constater que la courbe des sujets au repos est centrée sur 26°C, et qu'elle est plus resserrée, ces personnes sont plus sensibles à de faibles variations de température.

La courbe représentant le travail léger glisse vers les basses températures, les personnes ayant plus de chaleur à perdre préfèrent des températures plus basses [12].

La diffusion de chaleur entre l'individu et l'ambiance s'effectue selon divers mécanismes :



Figure 2 **:** Diffusion de chaleur entre l'individu et l'ambiance [10]

➢ Plus de 50 % des pertes de chaleur du corps humain se font par convection avec l'air ambiant (convection et évaporation par la respiration ou à la surface de la peau).

➢ Les échanges par rayonnement à la surface de la peau représentent jusqu'à 35 % du bilan alors que les pertes par contact (conduction) sont négligeables (< 1 %).

➢ Le corps perd également 6 % de sa chaleur à réchauffer la nourriture ingérée.

Cette importance de nos échanges par rayonnement explique que nous sommes très sensibles à la température des parois qui nous environnent [12].

II.3.2 Confort et humidité

II.3.2.1 L'incidence sur la transpiration

L'humidité relative ambiante influence la capacité de notre corps à éliminer une chaleur excédentaire. Ainsi, une température extérieure de 24°C et une humidité relative de 82 % (après une pluie en période de forte chaleur), entraînent une forte impression de moiteur, due à l'impossibilité pour la peau d'évaporer l'eau de transpiration et donc de se rafraîchir. Par contre, une température de 24°C conjointe à une humidité relative de 18 % (climat estival méditerranéen) permet de refroidir la peau par l'évaporation de l'eau de transpiration.

La chaleur nous paraît " très supportable "[10].

II.3.2.2 L'impact de l'humidité relative dans un bâtiment

L'humidité a relativement peu d'impact sur la sensation de confort d'un individu dans un bâtiment. Ainsi, un individu peut difficilement ressentir s'il fait 40 % ou 60 % d'humidité relative dans son bureau [10].

L'inconfort n'apparaît que lorsque :

- L'humidité relative est inférieure à 30 %.
- L'humidité relative est supérieure à 70 %.

De faibles niveaux d'humidité (en deçà de 30 %) donnent lieu à certains problèmes : Augmentation de l'électricité statique, Gêne et irritation accrue à la fumée de tabac augmentation de la concentration en poussières dans l'air, etc.

De hauts niveaux d'humidité (au-delà 70 % HR) donnent lieu à une croissance microbienne importante et à des condensations sur les surfaces froides.

Le diagramme ci-dessous, précisant la plage de taux d'humidité ambiante optimale d'un point de vue hygiénique (d'après Scofield et Sterling) (Doc.Dri-Steem/Pacare).

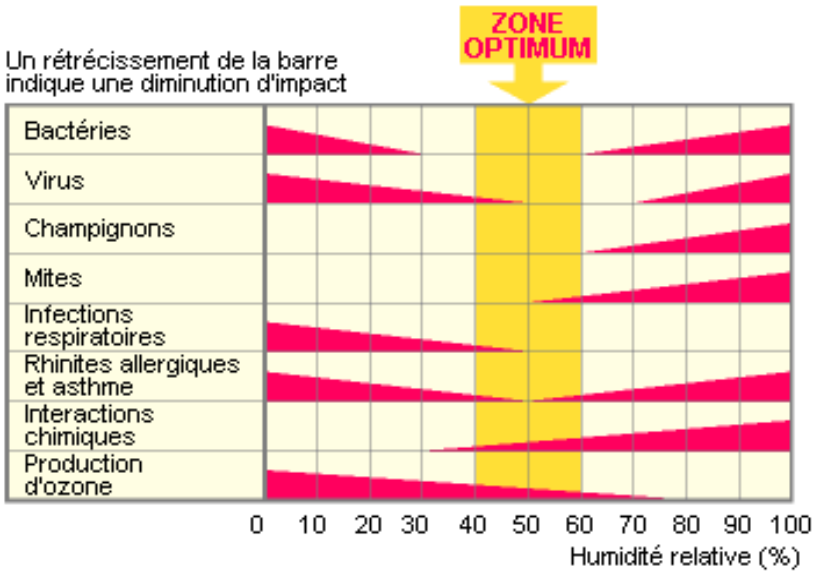


Figure 3 : Taux d'humidité ambiante optimale (Scofield et Sterling)[10]

Un air sec permet à certains microbes de se conserver en sporulant, augmente le risque d'in faction et d'allergies (poussières, pollens) et la concentration d'ozone.

Une humidité trop élevée favorise le développement des microbes et des acariens, favorise les réactions chimiques et les allergies aux composés chimiques.

L'humidité relative a peu d'effet sur le sentiment de confort, pour autant qu'elle se situe entre 30 et 70 % et que la température soit confortable. Un air frais et sec est mieux perçu qu'un air chaud et humide, ce qui permet de sérieuses économies : en abaissant la température et l'humidité de 23°C et 50% à 20°C et 40% on peut diminuer le débit d'air par personne de 10 à 3,5 l/s (36 à 13 m^3/h) sans que les occupants jugent que la qualité d'air diminue [12].

II.3.2.3 La plage de confort température-humidité

Pour un confort optimal et pour une température de l'air aux environs de 22°C, on peut dès lors recommander que l'humidité relative soit gardée entre 40 et 65 %.

Plus précisément, on peut définir une plage de confort hygrothermique dans le diagramme suivant (extrait de l'article de R. Fauconnier L'action de l'humidité de l'air sur la santé dans les bâtiments tertiaires parut dans le numéro 10/1992 de la revue Chauffage Ventilation Conditionnement) [10].

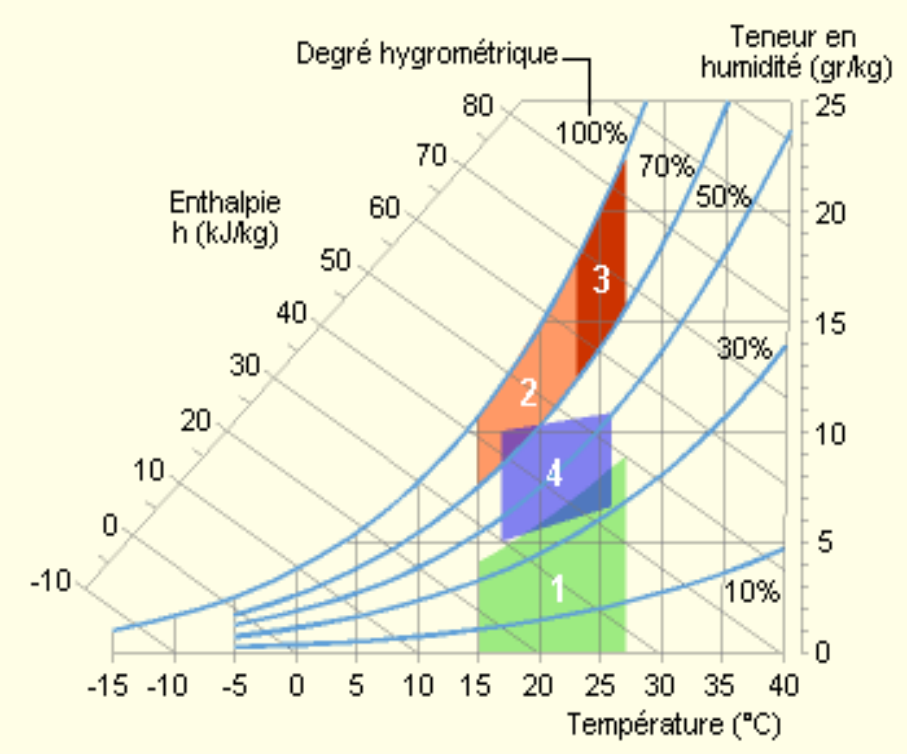


Figure 4 : Diagrammes d'humidité [10]

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

A noter enfin que les limites d'humidité imposées en Suisse par la SIA V382/1 sont beaucoup moins exigeantes : on admet une humidité située en permanence entre 30 et 65 % HR, avec des pointes entre 20 et 75 % HR durant quelques jours par an.
De tels taux momentanés sont supportables physiologiquement, sans qu'il ne soit nécessaire de recourir à une humidification artificielle.
Pour plus d'informations sur l'impact du taux d'humidité sur la santé, on consultera l'ouvrage Manuel de l'humidification de l'air [12].

II.3.3 Confort et vitesse de l'air

La vitesse de l'air (et plus précisément la vitesse relative de l'air par rapport à l'individu) est un paramètre à prendre en considération, car elle influence les échanges de chaleur par convection et augmente l'évaporation à la surface de la peau.
À l'intérieur des bâtiments, on considère généralement que l'impact sur le confort des occupants est négligeable tant que la vitesse de l'air ne dépasse pas 0,2 m/s.
À titre de comparaison : se promener à la vitesse de 1 km/h produit sur le corps un déplacement de l'air de 0,3 m/s.
Le mouvement de l'air abaisse la température du corps, facteur recherché en été, mais pouvant être gênant en hiver (courants d'air).
Le tableau 1 Illustre les réactions observées en fonction de la vitesse résiduelle de l'air pour plusieurs situations possibles [10]:

Tableau 1 : Réactions observées en fonction de la vitesse résiduelle de l'air [10]

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.

La fourniture d'air frais pour la ventilation d'un local n'entraîne en principe qu'un mouvement très faible de l'air. Le confort est donc directement lié à la qualité de la diffusion de l'air dans la pièce, afin d'assurer une vitesse réelle inférieure à 0,25 m/s au droit des occupants.

Pour les températures de locaux comprises entre 21 et 24°C, un déplacement d'air à la vitesse de 0,5 à 1 m/s donne une sensation rafraîchissante confortable à des personnes assises n'ayant que de faibles activités. Mais lorsqu'on fournit un travail musculaire dans des endroits chauds, des vitesses d'air de 1,25 à 2,5 m/s sont nécessaires pour apporter un soulagement.

On produit parfois des vitesses plus élevées lorsque des hommes sont soumis pour de courtes périodes à une chaleur rayonnante intense. Ce mouvement d'air sera obtenu à l'aide de ventilateurs.

L'effet rafraîchissant est ressenti peut-être exprimé en fonction de la diminution de la température de l'air qui donnerait le même effet rafraîchissant en air calme.

Le tableau 2 donne les valeurs extraites du Guide pratique de ventilation (valables pour des conditions moyennes d'humidité et d'habillement).

Tableau 2 : Vitesse de l'air et refroidissement équivalent [10]

Vitesse de l'air [m/s]	Refroidissement équivalent [°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

L'importance du mouvement d'air nécessité pour obtenir un effet rafraîchissant peut être évaluée dans une certaine mesure par l'expérience personnelle des vitesses extérieures de l'air. La sensation de fraîcheur produite par un vent léger soufflant par une fenêtre par une chaude journée est familière à chacun. La vitesse généralement désignée par "brise légère" est de l'ordre de 2,5 m/s [10].

L'échelle de Beaufort des vents reproduite sur le tableau ci-dessous donne des vitesses des vents en (km/h) et en (m/s) :

Tableau 3 : Vitesse des vents suivant l'échelle de Beaufort [10]

Force du vent à l'échelle Beaufort n°	Nature du vent	Vitesse en (m/s)	Vitesse en (km/h)
0	Calme	-	-
1	Air léger	1.5	5.4
2	Brise légère	3	10.8
3	Brise douce	5	18
4	Brise modérée	7	25
5	Brise fraîche	9	32.4
6	Brise forte	11	39.6
7	Vent modéré	13	47
8	Vent frais	15	54
9	Vent fort	18	65
10	Grand vent	21	76
11	Tempête	28	100
12	Ouragan	45	160

II.3.4 Confort, activité et habillement

II.3.4.1 L'estimation du niveau d'habillement

Le niveau d'habillement des occupants est caractérisé par une valeur relative, exprimée en "clo", l'unité d'habillement [10] .

Le tableau 4 illustre les diverses valeurs du métabolisme pour diverses activités.

Tableau 4 : Valeurs de clo pour différents habillements [10].

Tenue vestimentaire	Habillement
Nu.	0
Short.	0,1
Tenue tropicale type (short, chemise à col ouvert et à manches courtes, chaussettes légères et sandales).	0,3
Tenue d'été légère (pantalon léger, chemise à col ouvert et à manches courtes, chaussettes légères et chaussures).	0,5
Tenue de travail légère (chemise de travail en coton à manches longues, pantalon de travail, chaussettes de laine et chaussures).	0,7
Tenue d'intérieur pour l'hiver (chemise à manches longues, pantalon, pull-over à manches longues, chaussettes épaisses et chaussures).	1,0
Tenue de ville traditionnelle (complet avec pantalon, gilet et veston, chemise, chaussettes de laine et grosses chaussures).	1,5

II.3.4.2 L'évaluation du niveau d'activité

Tableau 5 : Valeurs de met pour différents activité [10]

Activité	W/m²	met
Repos, couché	45	0,8
Repos, assis	58	1
Activité légère, assis (bureau, école)	70	1,2
Activité légère, debout (laboratoire, industrie légère)	95	1,6
Activité moyenne, debout (travail sur machine)	115	2,0
Activité soutenue (travail lourd sur machine)	175	3,0

II.4 Effets thermique d'un corps humain

L'homme produit et échange de la chaleur. Sa production de chaleur interne se répartit dans sa masse corporelle tandis que ses échanges thermiques externes se font à la surface cutanée (Ad : surface de Dubois, Dubois Area).

La surface cutanée (en m2) se calcule à partir du poids P (kg) et de la taille T (en m) selon la formule [13]:

$$A_d = 0.2025 P^{0.425} T^{0.725} \quad \text{..... (II-1)}$$

II.4.1 Effet dû à la conduction

Même si nous échangeons parfois de la chaleur par conduction(K), seules de petites zones corporelles sont concernées. Quand des parties plus grandes de notre surface sont en contact avec des éléments de mobilier (chaise, fauteuil, canapé, lit), les tissus en contact se mettent rapidement en équilibre et se comportent comme un isolant thermique par rapport à l'ambiance : globalement donc, en régime permanent, on néglige les températures de surface et les aspects conductifs en les incluant dans les échanges convectifs [13].

II.4.2 Effet du a la convection

La température de l'air est un paramètre très important parce qu'elle participe activement et de façon permanente (dans nos climats, du moins) à notre déperdition calorique du fait de sa part active dans les échanges convectifs. Son impact est d'autant plus grand que les vitesses de l'air et des courants sont également influentes dans cette modalité d'échange.

Les échanges par convection sont régis par l'équation [13]:

$$C = h_c \left(T_a - \overline{T}_{sk} \right) A_c F_{cl} \text{.....(II-2)}$$

Avec :

- **C** : flux convectif global.
- **Hc** : coefficient d'échange par convection.
- **Tsk** : température moyenne de peau.
- **Ta** : température de l'air.
- **Ac** : surface cutanée exposée (souvent la surface totale Ad).

-**Fcl** : facteur de prise en compte de l'effet lié à l'isolement vestimentaire si l'isolement est nul, Fc = 1, impliquant 100 % des échanges possibles , si l'isolement est grand, Fcl tend ver 0, limitant considérablement le flux convectif Le coefficient de convection hc est calculé par :

$$h_c = 3,5 + 5,2V_{ar} \quad \text{Pour} \quad V_a \leq 1m.s^{-1}$$

$$h_c = 8,7V_{ar}^{0,6} \quad \text{Pour} \quad V_a > 1m.s^{-1}$$

Avec :

- **Va** : vitesse de l'air ambiant.

Les coefficients de ces relations sont donnés pour hc exprimé en ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$) et Va en ($m \cdot s^{-1}$).

Définissons ici le coefficient hco d'échange convectif en air calme(Va= 0,05 m·s–1) qui vaut :

$$hco = 3,5 + (5,2 \times 0,05) \approx 3,8 \ (W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1})$$

La vitesse d'air résultante (Var) tient compte de la vitesse de l'air ambiant (Va) et des vitesses liées aux déplacements et à l'activité du sujet selon la proposition :

$$Var = Va + 0,0052 \ (M - 58) \ldots\ldots\ldots\ldots (II\text{-}3)$$

Avec :

- **M** : activité métabolique (en $W \cdot m^{-2}$), telle que décrite au avec une condition supplémentaire de sorte que, si M > 200 alors M est pris égal à 200 ($W \cdot m^{-2}$) , afin de limiter le second terme du membre de droite de l'équation à 0,7.

II.4.3 Effet dus a la radiation

La température de rayonnement correspond à la température des surfaces avec lesquelles le corps humain échange de la chaleur.

Le flux radiatif dépend de la constante de Stefan-Boltzmann, de l'émissivité des corps, des différences des puissances quatrièmes de températures des surfaces et des facteurs de forme.

Dans un souci de simplification et par analogie avec l'échange convectif, on utilise une formule simplifiée linéarisée [13]:

$$R = h_r \left(\overline{T}_r - \overline{T}_{sk} \right) A_r F_{cl} \ldots\ldots\ldots\ldots (II\text{-}4)$$

Avec :

- **R** : flux radiatif échangé par le corps humain.

- **hr** : coefficient d'échange par rayonnement.

- **Tr** : température moyenne de rayonnement du milieu environnant.

- **Tsk** : température moyenne de peau.

- **Ar** : surface cutanée qui rayonne.

- **Fcl** : facteur lié à l'isolement vestimentaire.

$$h_r = 4\sigma\varepsilon_{sk}\left(\frac{\overline{T}_r + \overline{T}_{sk}}{2}\right)^3 \quad \text{..... (II-5)}$$

Avec :

- **σ** : constante de Stefan-Boltzmann ($5{,}67 \times 10^{-8}$ W · m^{-2} · K^{-4}).

- **εsk** : émissivité cutanée (0,97).

$\overline{T}_r + \overline{T}_{sk}$: Respectivement températures moyennes de rayonnement et de peau. Soit :

$$h_r = 22\times10^{-R}\left(\frac{\overline{T}_r + \overline{T}_{sk}}{2}\right)^3 \text{.....(II-6)}$$

Ce qui, pour des températures telles que celles rencontrées dans le bâti conduit à hr ≈ 6,0 (W·m^{-2}·K^{-1}).Comme la surface Ar est difficile à déterminer, on écrit :

$$A_r = \frac{A_r}{A_d} A_d \qquad \text{Ou} \qquad \frac{A_r}{A_d}$$

Rapport entre la surface cutanée qui rayonne et la surface corporelle totale, joue le rôle d'un coefficient de forme qui vaut :

- 0,67 pour le sujet accroupi. - 0,70 pour le sujet assis. - 0,77 pour le sujet debout.

Dans l'exemple précédent, le coefficient d'échange radiatif que l'on peut appliquer si on considère le flux en fonction de la surface totale (Ad) devient, pour l'homme assis :

$$hr = 0{,}7 \times 6{,}00 \approx 4{,}2\ (W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1})$$

Cette notion est intéressante car elle permet de voir que, globalement pour l'Homme, le coefficient d'échange radiatif est supérieur au coefficient convectif en air calme. La température moyenne de rayonnement se déduit des mesures de température de globe noir (défini dans la norme ISO 7726) Tg, de la température de l'air et de la vitesse d'air selon la formule empirique :

$$\overline{T_r} = \left[\left(T_g\right)^4 + 2.5\times10^8 V_a^{0.6} \left(T_g - T_a\right) \right]^{1/4} \text{.....(II-7)}$$

Une formule simplifiée a été proposée pour une approximation de la température moyenne de rayonnement à partir des températures d'air Ta et de globe noir Tg ainsi que de la vitesse de l'air Va :

$$\overline{T}_r = T_g + 1.8\sqrt{V_a}\left(T_g - T_a\right) \text{..... (II-8)}$$

II.4.4 Effet de du a l'humidité

A priori, l'humidité en elle-même n'a pas beaucoup d'impact sur les échanges thermiques. Elle intervient parce que l'organisme humain a des muqueuses qui, par définition, sont toujours moites ou mouillées (lèvres, yeux, voies respiratoires). À ce niveau les échanges sont relativement faibles mais la perception des changements est grande. Au niveau cutané, par contre, la sudation, quand elle se produit, permet une déperdition calorique évaporatoire importante régie par la loi [13]:

$$E = h_e \left(p_{a_{H2O}} - P_{s_{H2O}} \right) A_e F_{pcl} \text{.....(II-9)}$$

Avec :

- **E** : flux évaporatoire global.

- **he :** coefficient d'évaporation qui selon l'analogie Nusselt/Sherwood est directement proportionnel au coefficient de convection suivant la relation de Lewis (analogie entre le transfert de masse et le transfert de chaleur) :

$$h_e = kh_c \text{.....(II-10)}$$

k = 2,2($K \cdot Torr^{-1}$) ou encore 16,7 ($K \cdot kPa^{-1}$).

- $\mathbf{P_{aH2O}}$: Pression partielle de vapeur d'eau ambiante (kPa).

- $\mathbf{P_{sH2O}}$: pression saturante de vapeur d'eau à la température cutanée T_{sk} (kPa).

- **Ae** : surface d'évaporation, qui vaut : avec Ae = (Ae/Ad)*Ad.

Avec :

- **(Ae/Ad)** : pourcentage de surface mouillée encore appelé mouillure cutanée : w (pour wettedness).

- **Fpcl** : facteur qui rend compte des effets de la perméabilité du vêtement.

S'il vaut 1 le vêtement est très perméable et tout se passe comme si le sujet était nu.

S'il vaut 0 la perméabilité du vêtement est nulle et l'évaporation aussi .

II.4.5 Effet métabolique

La production de chaleur métabolique est le reflet de la vie cellulaire qui résulte de la consommation d'oxygène (M_{O2}) et du dégagement du gaz carbonique (M_{CO2}) dont les quantités varient en fonction du substrat énergétique dégradé (glucides, lipides, pro-tides). En état stable, la quantité de chaleur métabolique produite se déduit de la consommation d'oxygène calculée à partir des débits d'air ventilé et de la différence de concentration entre l'air inspiré et l'air expiré. En conditions normales, lorsque l'organisme est au repos et en équilibre nutritionnel, le quotient respiratoire global de l'organisme est de 0,83. Pour une telle valeur, la consommation de chaque litre d'oxygène par heure produit en moyenne 5,57 (W). Or, l'Homme au repos consomme 0,31 (L) d'oxygène à la minute, soit 18,6 ($L.h^{-1}$) il dégage donc 104 (W) (58 $W.m^{-2}$ pour l'Homme standard de 1,8 m^2) : c'est le métabolisme de repos (sujet assis, vêtu à la thermo neutralité) correspondant à la chaleur métabolique puisque aucun travail n'est fourni à l'extérieur du corps humain.

En condition de vie au bureau, à l'école, à la maison, on estime le métabolisme non pas à partir de la consommation d'oxygène, trop complexe à obtenir, mais à partir des activités de l'individu, de ses mouvements et du type d'activité. On considère le rendement nul,

stipulant que toute l'énergie produite est dégagée sous forme de chaleur à l'intérieur du corps. Une approximation consiste à utiliser la formule [13]:

$$M = Mb + Mp + Ma \text{ ……..(II-11)}$$

Avec :

- **Mb** : métabolisme de base [métabolisme minimal (homme nu allongé à la thermo neutralité hors période postprandiale)] : 45 ($W \cdot m^{-2}$).

- **Mp** : métabolisme de posture : - Assis : 10 (W/m^2).
  - Accroupi: 20 (W/m^2).
  - Début: 25 (W/m^2).
  - Début penché ou perché : 30 (W/m^2).

- **Ma** : métabolisme d'activité à déterminer à partir du tableau 6, en considérant les valeurs limites des classes lorsque l'on a du mal à décider de la classe elle-même.

Tableau 5 : Valeurs de met pour différents activité[13]

Travail	Léger (w/m^2)	Moyen (w/m^2)	Lourd (w/m^2)
Mains	10 à 22	22 à 34	34 à 46
1 Bras	25 à 45	45 à 65	65 à 85
2 Bras	55 à 75	75 à 95	95 à 115
Corps	95 à 155	155 à 230	230 à 330

II.4.6 Effet vestimentaire

Les climats des régions de l'hémisphère nord ne nous permettent pas de vivre en équilibre thermique sans protection vestimentaire. Supposons en effet qu'à 21 ^oC de température ambiante en air calme, l'Homme ait une température cutanée moyenne de 33,4 ^oC. Il existerait donc un écart thermique de 12,4 K entre sa peau et l'environnement. Or, l'équilibre thermique de l'individu au repos assis suppose qu'il ne perde, par convention et rayonnement, pas plus que son métabolisme, ici de l'ordre de 44 ($W \cdot m^{-2}$) quand on a déduit, des 58 ($W \cdot m^2$) du repos, les pertes convective et évaporatoire liées à la respiration et qui représentent 14 ($W \cdot m^{-2}$). La résistance totale à produire pour ne perdre que ces 44 ($W \cdot m^{-2}$) restant à éliminer est donc de soit 0,28 ($K \cdot m^2 \cdot W^{-1}$) [13].

Cet isolement de 0,28 ($K \cdot m^2 \cdot W^{-1}$) correspond à l'isolement total It, qui est la somme de deux isolements : l'isolement de la couche limite d'air (Ia) et l'isolement vestimentaire (Icl).

La poursuite du calcul implique la connaissance des coefficients d'échange de chaleur sensible par convection et par rayonnement. En air calme, le coefficient **hco** est de 3,8 ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$) et le coefficient **hr** est, pour l'homme assis, de 4,2 ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$) Ia vaut donc :

$$I_a = \frac{1}{h_{co} + h_r} = \frac{1}{3.8 + 4.2} = 0.125 (\text{K. m}^2.\text{W}^{-1})$$

L'équilibre supposant une valeur de 0,28 (K·m2·W–1), on déduit que l'isolement vestimentaire nécessaire est :

$$Icl = It - Ia = 0,28 - 0,125 = 0,155 (K \cdot m^2 \cdot W^{-1})$$

Cette valeur particulière **Iclo** a été définie comme valant1 « clo », isolement nécessaire au maintien de la balance thermiques de l'homme sédentaire à 21 ^oC en air calme.

II.5 Bilan globale

La stabilité de la température corporelle chez l'homme implique un équilibre entre la production de chaleur endogène, résultat du métabolisme de base et du travail physique et les pertes de chaleur vers le milieu extérieur.

L'équation du bilan thermique à l'équilibre s'écrit :

$$B = C_{res} + E_{res} + K + C + R + E - H \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (II\text{-}12)$$

Un bilan B nul correspond à l'équilibre thermique de l'organisme humain impliquant une stabilité des températures corporelles.

Cette équation impose que la production de chaleur interne du corps (H) est, à l'équilibre thermique, compensée par les échanges de chaleur au niveau des voies respiratoires par convection (C_{res}) et évaporation (E_{res}) ainsi que par les échanges au niveau de la peau par conduction (K), convection (C), rayonnement (R) et évaporation (E) [14].

II.5.1 Echanges par convection respiratoire (C_{res})

Les échanges par convection ont lieu entre un solide et un fluide ou entre deux fluides. Au niveau respiratoire (C_{res} en $W.m^{-2}$) les échanges sont fonction du débit ventilatoire et de la différence de température entre l'air inspiré et l'air expiré [14].

$$C_{res} = 0,0014\ M\ (34 - t_a) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (II\text{-}13)$$

- **M** : le métabolisme en ($W.m^{-2}$).
- $\mathbf{t_a}$: est la température de l'air inspiré en (°C).

II.5.2 Echanges par évaporation respiratoire (E_{res})

En ambiance chaude, la perte de chaleur par évaporation respiratoire (E_{res} en $W.m^{-2}$) est le plus souvent minime. Toutefois, l'utilisation de protections respiratoires notamment les appareils à adduction d'air qui utilisent un air relativement sec peut augmenter très sensiblement l'évaporation par voie respiratoire [14].

En pratique, ce flux peut être estimé par l'expression proposée par FANGER (1972) :

$$E_{res} = 0{,}000017\ M\ (5867 - Pa) \quad \text{……..(II-14)}$$

- $\mathbf{P_a}$ **:** est la pression saturante de vapeur d'eau (Pa).

II.6 Méthodes actuelles pour atteindre le confort thermique

Les normes et méthode actuellement en matière de confort thermique portent principalement sur les conditions de confort thermique dans des conditions stables. La plupart des études du confort thermique ont été men en laboratoire et sont basée sur des évaluations du transfert thermique entre les êtres humain et leur environnement ainsi que des conditions physiologiques requises pour un confort thermique.

Les méthodes les mieux connue et les plus largement acceptées sont l'indice de confort thermique PMV proposé par FANGER (FANGER 1972) le modèle a deux nœuds de thermorégulation humaine de J.B. Pierce, (GAGGE 1973 et GAGGE et al. 1986). Plusieurs normes de confort thermique stable ont été établies sur base de ces modèle [3].

II.6 .1 Modèle de GAGGE

Pour ce modèle, GAGGE a modélisé le corps humain en deux compartiments concentriques représentant le centre du corps et la peau. Le modèle est une version simplifiée de celui développé par STOLWIJK et Hardy pour la NASA [ASHRAE Hand-book]. Contrairement au modèle statique de FANGER, ceci est un modèle dynamique qui permet de prévoir les variables physiologiques sous des conditions instationnaires. En sortie du modèle, la température cutanée et la mouillure cutanée sont utilisées pour le calcul d'un indice développé par GAGGE, le SET. Cet indice représente la température équivalente d'une enceinte isotherme à 50 % d'humidité relative, dans laquelle un sujet portant une vêture standard

échangerait la même quantité de chaleur et aurait la même réponse physiologique que dans l'enceinte réelle dans laquelle il se trouve. Cet indice est ainsi associé au confort thermique [15].

II.6 .2 Modèle de FANGER

FANGER a déterminé expérimentalement les conditions physiologiques (température cutanée et sudation) nécessaires pour le confort thermique sous des conditions thermiques homogènes et stationnaires. En écrivant le bilan thermique, il a exprimé, à l'aide de l'indice PMV, la sensation thermique en fonction de l'écart du flux de chaleur cédé par le corps à l'environnement par rapport à celui qui correspondent aux conditions de confort. Le PMV exprime la sensation thermique moyenne éprouvée par un large groupe d'individus sur l'échelle de sensation thermique de l'ASHRAE [11].

-3	très froid	
-2	froid	insatisfait parce que trop froid
-1	frais	
0	confortable	satisfait
1	tiède	
2	chaud	insatisfait parce que trop chaud
3	très chaud	

La sensation thermique n'étant pas suffisante pour exprimer le confort, FANGER a proposé un autre indice qui complète le PMV. Le pourcentage prévisible d'insatisfaits, appelé PPD (Predicted Pourcentage of Dissatisfied) qui exprime la part des sujets insatisfaits dans une condition donnée [15].

II.6.3 Paramètres influant le confort thermique

En 1982, FANGER a établi une équation prédisant le PMV à partir des paramètres de confort qui sont énumérés ci-dessous [11]:

- Température de l'air ..... T_a [°C] ou T_a [K].
- Température radiante moyenne ..... T_{mrt} [°C] ou T_{mrt} [K].

- Vitesse relative de l'air..... v [m/s].
- Pression partielle de vapeur d'eau ..... p [Pa].
- Activité métabolique du sujet ..... M [Watt].
- Son travail mécanique fourni..... W [Watt].
- Surface de peau du sujet ..... A [m^2].
- Activité spécifique du sujet ..... m = M/A [W/m^2].
- Son travail spécifique ..... w = W/A [W/m^2].
- La résistance thermique des habits ..... R [m^2 K/W].
- ou l'habillement..... [Clo] = R/0.155.
- La fraction de la surface habillée ..... fcl.

II.6.4 Calcul des indices de confort PMV et PPD

Le modèle utilisé est celui de FANGER. Ce modèle s'éclate en cinq équations suivantes [10]:

$$PMV = (0{,}303 \exp(-0{,}036.M) + 0{,}028)\,[M - 3{,}05.10^{-3}(5733 - 6{,}99.M - P_a) - 0{,}42(M - 58{,}15) - 1{,}7.10^{-5} M(5867 - p_a) - 0{,}0014 M(34 - t_a) - 3{,}96.10^{-8} f_{cl}((t_{cl}+273)^4 - (t_r+273)^4) + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)]$$

……..(II-15)

$$t_{cl} = 35{,}7 - 0{,}028M - 0{,}155 I_{cl}[3{,}96.10^{-8}.f_{cl}((t_{cl}+273)^4) + f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a)]$$

……. (II-16)

$$hc = \begin{cases} 12{,}1\sqrt{v} \; si \; 2{,}38(t_{cl} - t_a)^{0{,}25} <= 12{,}1\sqrt{v} \\ 2{,}38(t_{cl} - t_a)^{0{,}25} \; si \; 2{,}38(t_{cl} - t_a)^{0{,}25} > 12{,}1\sqrt{v} \end{cases}$$

……. (II-17)

$$f_{cl} = \begin{cases} 1{,}00 + 0{,}2 I_{cl} _ si _ I_{cl} <= 0{,}5 clo \\ 1{,}05 + 0{,}1 I_{cl} _ si _ I_{cl} > 0{,}5 clo \end{cases}$$

……..(II-18)

La relation entre le PPD et le PMV en suivante :

$$PPD = 1 - 0.95 \exp(-0.003353\ PMV^4 - 0.2179\ PMV \quad \text{..... (II-19)}$$

CHAPITRE N°III

LOGICIEL SPSS

III.1 Introduction

SPSS est un système complet d'analyse de données. SPSS peut utiliser les données de presque tout type de fichier pour générer des rapports mis en tableau, des diagrammes de distributions et de tendances, des statistiques descriptives et des analyses statistiques complexes. Grâce à SPSS, l'analyse statistique est plus accessible aux débutants et plus pratique pour les utilisateurs chevronnés. Grâce à des menus et des sélections de boîte de dialogue simples, vous pouvez exécuter des analyses complexes sans saisir une seule ligne de syntaxe de commande. L'éditeur de données offre une fonctionnalité de type tableur simple et efficace pour la saisie des données et la lecture du fichier de travail [26].

III.2 Options SPSS

Les options suivantes sont fournies comme améliorations complémentaires du système de base complet SPSS Base (pas de la version Student) :

- Le module Modèles de régression SPSS™fournit des techniques d'analyse des données non adaptées aux modèles statistiques linéaires classiques. Il contient des procédures pour les modèles de choix binaire, la régression logistique, la pondération estimée, la régression par les doubles moindres carrés et la régression non linéaire générale.

- Le module Modèles avancés SPSS™décrit les techniques souvent utilisées dans la recherche biomédicale et expérimentale avancée. Il inclut des procédures pour les modèles linéaires généraux (GLM), les modèles mixtes linéaires, l'analyse des composantes de variance, l'analyse log-linéaire, la régression ordinale, la durée de vie actuarielle, l'analyse de survie de Kaplan-Meier, et la régression de Cox de base et étendue.

- Le module Tableaux SPSS™crée toute une gamme de rapports en tableau de qualité présentation, y compris des tableaux croisés complexes, et les affichages de données de réponses multiples. Le module Séries SPSS™effectue des prévisions et des analyses de séries chronologiques complètes avec plusieurs modèles d'ajustement aux courbes, des modèles de lissage et des méthodes d'estimation des fonctions autorégressives.

- Le module Modalités SPSS®exécute des procédures de codage optimal comme l'analyse des correspondances. SPSS Conjoint™ offre une manière réaliste de mesurer la façon dont les attributs du produit individuel affectent les préférences des consommateurs et des citoyens.

Avec SPSS Conjoint, il est possible de mesurer facilement l'effet de compromis de chaque attribut de produits dans le contexte d'un ensemble d'attributs de produits, comme le font certains consommateurs lorsqu'ils décident de ce qu'ils vont acheter.

- Le module Tests exacts SPSS™calcule les valeurs exactes pour les tests statistiques lorsque de petits échantillons ou des échantillons distribués de façon très inégale risquent de fausser la précision des tests habituels.

- Le module Analyse des valeurs manquantes SPSS™décrit les types des données manquantes, évalue les moyennes et d'autres statistiques, et affecte des valeurs aux observations manquantes.

- Le module SPSS Maps™transforme vos données distribuées géographiquement en cartes de haute qualité comportant des symboles, des couleurs, des diagrammes en bâtons ou en secteurs, et des combinaisons de thèmes, ce qui permet de représenter ce qui se passe et où cela se passe.

- Le module Echantillonnage SPSS™permet aux chercheurs chargés d'effectuer des enquêtes (notamment d'opinion), des études de marché, ou travaillant dans le domaine de la santé, ainsi qu'aux spécialistes des sciences sociales qui utilisent une méthodologie d'étude fondée sur les échantillons, d'incorporer leurs propres plans d'échantillonnage complexes dans l'analyse des données.

- SPSS Classification Tree™crée un modèle d'arbre de segmentation. Elle classe les observations en groupes ou estime les valeurs d'une variable (cible) dépendante à partir des valeurs de variables (explicatives) indépendantes. Cette procédure fournit des outils de validation pour les analyses de classification d'exploration et de confirmation.

- Validation des données SPSS™fournit un cliché visuel rapide de vos données. Il permet d'appliquer des règles de validation qui identifient les valeurs de données invalides. Vous pouvez créer des règles qui repèrent les valeurs hors plage, les valeurs manquantes et les valeurs vides. Vous pouvez également enregistrer des variables qui enregistrent les violations de règles individuelles et le nombre total de violations de règles par observation. Un ensemble limité de règles prédéfinies que vous pouvez copier ou modifier vous est fourni.

- Amos™(analyse de structures de moments) utilise la modélisation d'équation structurelle pour confirmer et expliquer des modèles conceptuels qui impliquent l'attitude, les perceptions et d'autres facteurs qui entraînent un comportement. La famille des produits SPSS comprend également des applications pour la saisie de données, l'analyse de texte, la classification, les réseaux neuronaux et les services d'entreprises de prévision [26].

III.3 Fonctionnalités

La version étudient contient tous les principaux outils d'analyse des données du système SPSS Base complet, notamment :

- Editeur de données de type tableur pour la saisie, la modification et l'affichage des fichiers de données.
- Procédures statistiques, notamment tests, analyse des variances et tabulations croisées.
- Diagrammes interactifs qui vous permettent de modifier ou d'ajouter des éléments et des variables de manière dynamique. Les modifications apparaissent dès que vous les effectuez.
- Diagrammes standard haute résolution permettant d'obtenir une gamme complète de diagrammes et de tableaux de présentation et analytiques [27] .

III.4 Objectifs

1. Savoir g´errer (importer, exporter, recoder, transformer, filtrer) les donnes avec SPSS.

2. Analyse statistique descriptive (notion de distribution, graphiques et indicateurs statistiques).
    (a) analyse univariée.
    (b) analyse bivariée.
3. Quelques principes de statistique différentielle.
    (a) Estimation ponctuelle : biais et variance.
    (b) Intervalle de confiance et marge d'erreur.
    (c) Principe du test statistique d'hypothèse [29] .

III.5 Utilisation

Les opérations :

– saisie ou lecture des données.

– transformation et construction de variables.

– analyse statistique.

Peuvent se faire :

– par le menu et les dialogues appropries.

Avantage : intuitif rapidement opérationnel.

– par la syntaxe

Avantage : peut être mémorisée et donc réutilisée et transférée aux collègues.

Certaines options ne sont accessibles que par la syntaxe.

Suggestion : utiliser le menu la première fois et sauver la syntaxe en cliquant sur Paste [26] .

III.6 Définition SPSS

- programme informatique d'analyse de données statistiques.

- permet de saisir des données, d'en faire des présentations résumées (tableaux, graphiques), de les organiser et surtout de les analyser

- SPSS fonctionne sur les plateformes MAC et Windows, ainsi que sur les systèmes centraux tels UNIX.

- nous ferons référence à trois types de documents SPSS :

a) des fichiers de données (SPSS Data Editor).

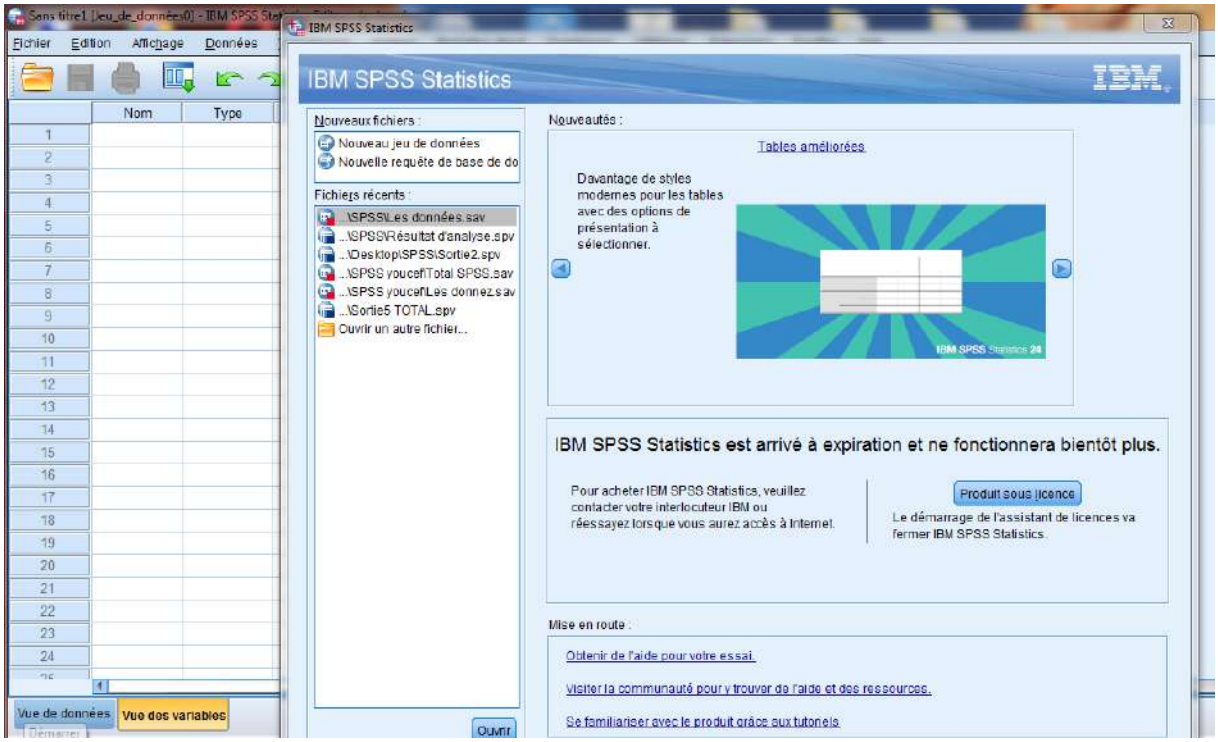
b) des fichiers de commandes permettant d'exécuter des procédures statistiques (SPSS Syntaxe editor).

c) et des fichiers de résultats ou apparaissent les tableaux et les graphiques produits par SPSS (SPSS Viewer).

Dans ce qui suit nous apprendrons ce que sont ces fichiers et comment les utiliser le programme SPSS est constamment mis à jour et amélioré, mais les différences entre les versions ne sont pas toujours majeures. Nous utiliserons ici la version 24, mais elle ne diffère pas beaucoup des versions 19, 20, 21, 22 et 23 [28] .

III.7 Démarrage de SPSS



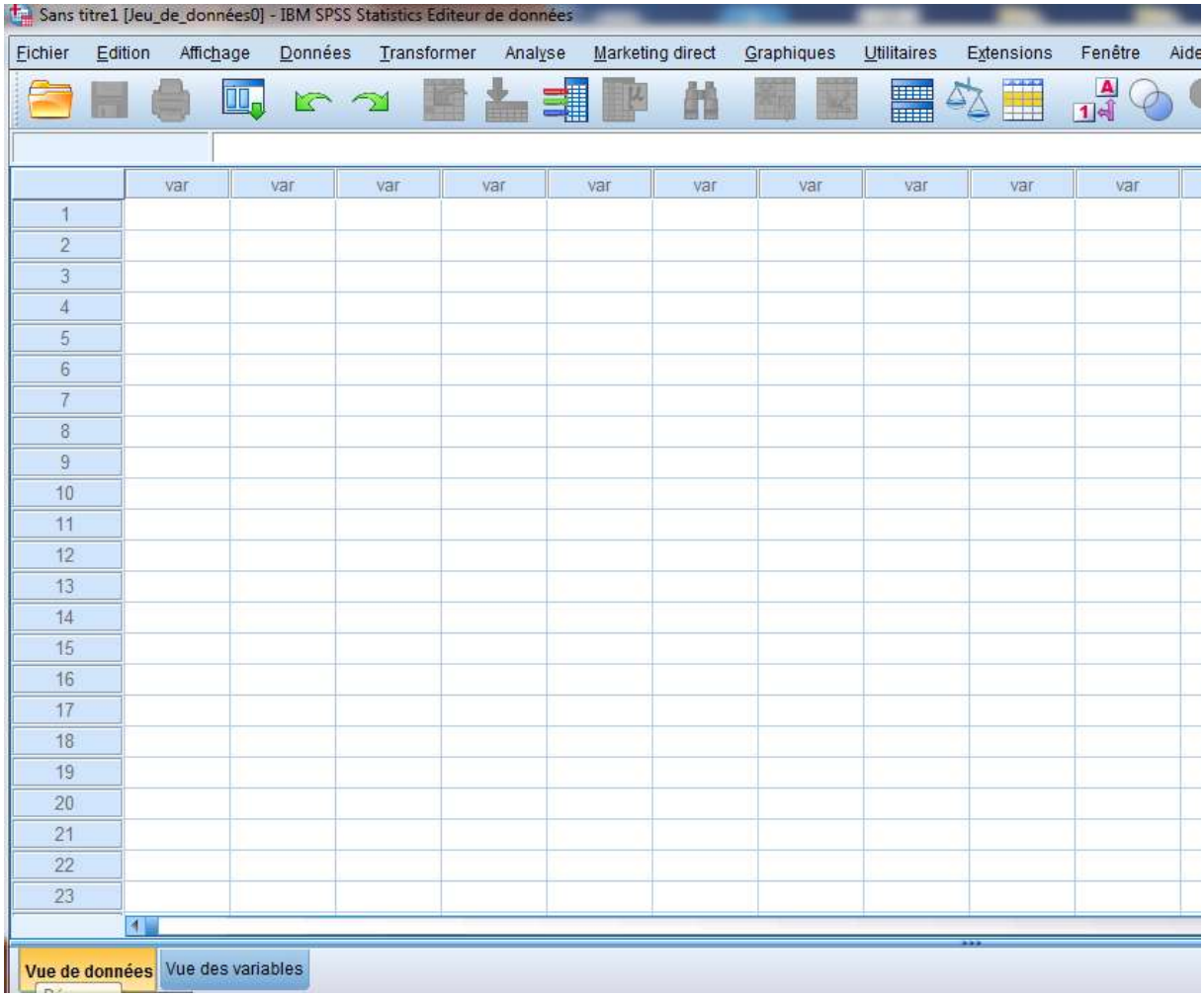


Lorsque SPSS démarre, il ouvre une fenêtre principale qui ressemble un peu à une feuille Excel. Il ouvre devant cette grille, une boîte de dialogue permettant : d'ouvrir un jeu de données SPSS ou dans un autre format, créer un nouveau jeu de données, etc. On peut soit utiliser cette boîte de dialogue, soit juste cliquer sur « cancel », car nous pouvons faire exactement les mêmes manipulations directement à l'intérieur de SPSS.

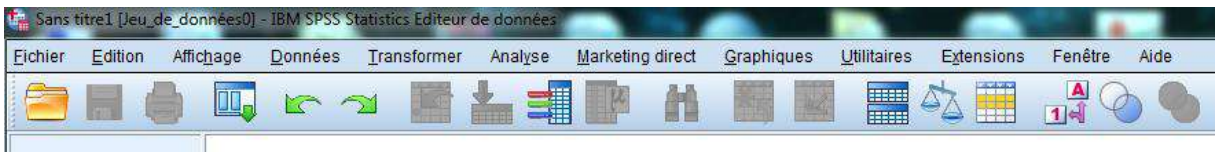
En regardant attentivement, vous verrez un fichier nommé douleurs chroniques. Sélectionnez-le et ouvrez-le. Nous allons travailler beaucoup sur les données de ce fichier qui provient d'une étude à l'université de Fribourg [30] .

III.8 L'éditeur de donnés

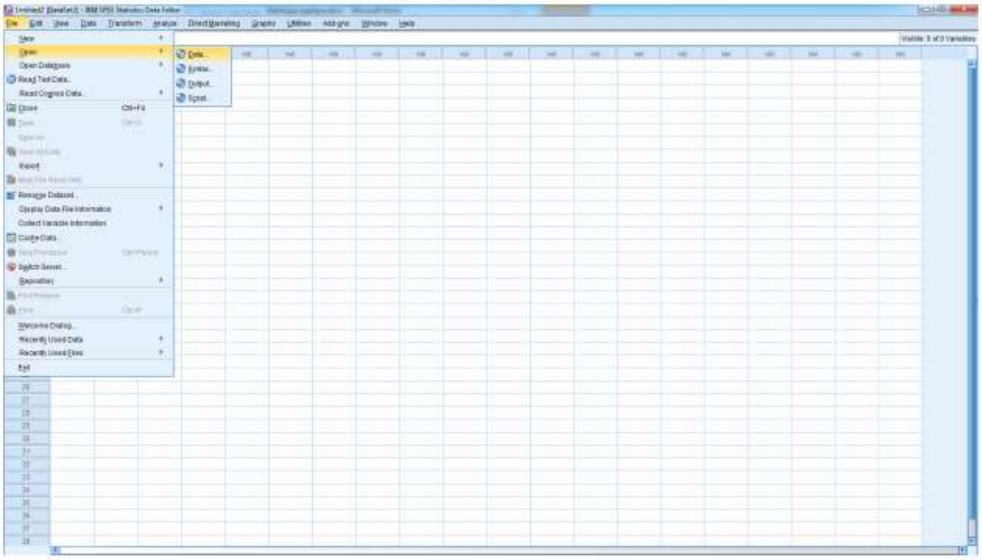
Une fois cette boîte de dialogue fermée, nous voyons l'éditeur de données contient la grille de données (vue de données) et les descriptions des variables (vue de variables)



Dans la partie supérieure de l'éditeur de données nous avons, comme dans Word et Excel, des menus déroulants :



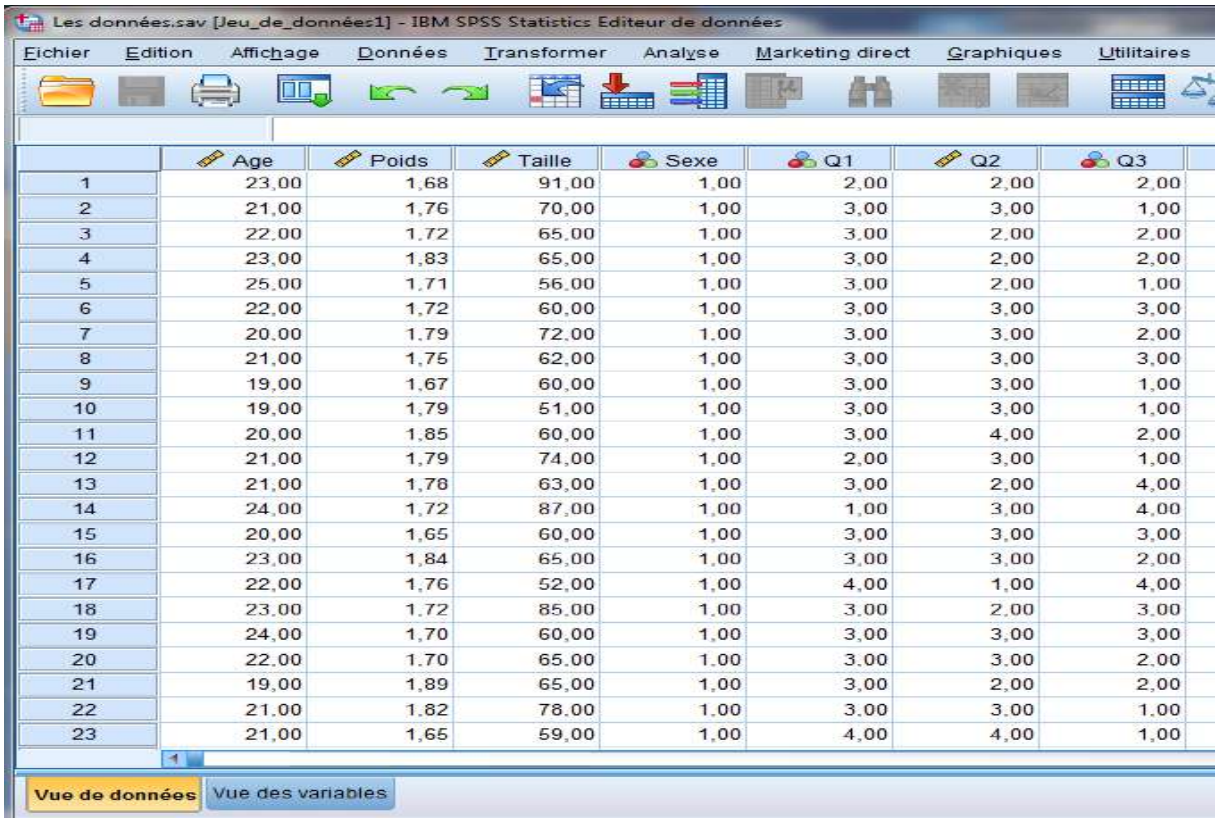
Pour ouvrir un fichier de données SPSS (extension .sav) nous allons utiliser les menus déroulant. Cliquer sur « file » puis sur « open » et finalement sur « data… ». Là, vous pouvez chercher votre fichier dans le répertoire où vous l'avez enregistré.



Une fois nos données ouvertes, nous pouvons explorer les deux affichages mentionnées en dessus : l'affichage des données («data view») et l'affichage des variables («variable view ») [30] .

III.8.1 Affichage des données

- Chaque ligne représente un cas, par exemple un sujet (case).
- Chaque colonne représente une variable (variable).
- Chaque cellule contient une valeur d'un cas sur une variable [27] .



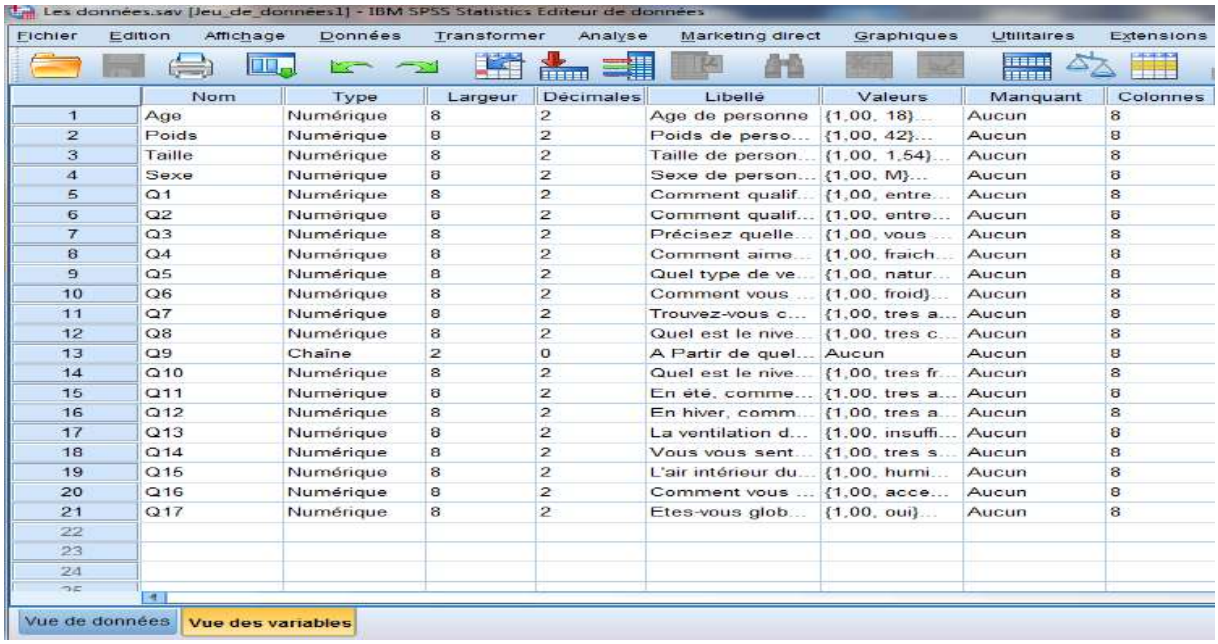
	Age	Poids	Taille	Sexe	Q1	Q2	Q3
1	23,00	1,68	91,00	1,00	2,00	2,00	2,00
2	21,00	1,76	70,00	1,00	3,00	3,00	1,00
3	22,00	1,72	65,00	1,00	3,00	2,00	2,00
4	23,00	1,83	65,00	1,00	3,00	2,00	2,00
5	25,00	1,71	56,00	1,00	3,00	2,00	1,00
6	22,00	1,72	60,00	1,00	3,00	3,00	3,00
7	20,00	1,79	72,00	1,00	3,00	3,00	2,00
8	21,00	1,75	62,00	1,00	3,00	3,00	3,00
9	19,00	1,67	60,00	1,00	3,00	3,00	1,00
10	19,00	1,79	51,00	1,00	3,00	3,00	1,00
11	20,00	1,85	60,00	1,00	3,00	4,00	2,00
12	21,00	1,79	74,00	1,00	2,00	3,00	1,00
13	21,00	1,78	63,00	1,00	3,00	2,00	4,00
14	24,00	1,72	87,00	1,00	1,00	3,00	4,00
15	20,00	1,65	60,00	1,00	3,00	3,00	3,00
16	23,00	1,84	65,00	1,00	3,00	3,00	2,00
17	22,00	1,76	52,00	1,00	4,00	1,00	4,00
18	23,00	1,72	85,00	1,00	3,00	2,00	3,00
19	24,00	1,70	60,00	1,00	3,00	3,00	3,00
20	22,00	1,70	65,00	1,00	3,00	3,00	2,00
21	19,00	1,89	65,00	1,00	3,00	2,00	2,00
22	21,00	1,82	78,00	1,00	3,00	3,00	1,00
23	21,00	1,65	59,00	1,00	4,00	4,00	1,00

III.9 Définition d'une variable et de ses propriétés

Cette opération s'effectue dans la fenêtre Variable View. Vous pouvez passer d'une fenêtre à L'autre en cliquant sur les onglets correspondants dans la barre en bas à gauche de la fenêtre. Sous la colonne Name on indique le nom de la variable (nom sans accent, ni espace, utiliser le Symbole pour séparer les mots), par exemple âge, sexe, nationalité. On appuie ensuite sur enter pour valider cette entrée. Des propriétés par défaut s'inscrivent alors sur la ligne qui concerne cette variable [29] .

III.9.1 Vue des variables

- Chaque ligne représente une variable.
- Les colonnes décrivent les caractéristiques des variables.



	Nom	Type	Largeur	Décimales	Libellé	Valeurs	Manquant	Colonnes
1	Age	Numérique	8	2	Age de personne	{1,00, 18}...	Aucun	8
2	Poids	Numérique	8	2	Poids de perso...	{1,00, 42}...	Aucun	8
3	Taille	Numérique	8	2	Taille de person...	{1,00, 1,54}...	Aucun	8
4	Sexe	Numérique	8	2	Sexe de person...	{1,00, M}...	Aucun	8
5	Q1	Numérique	8	2	Comment qualif...	{1,00, entre...	Aucun	8
6	Q2	Numérique	8	2	Comment qualif...	{1,00, entre...	Aucun	8
7	Q3	Numérique	8	2	Précisez quelle...	{1,00, vous ...	Aucun	8
8	Q4	Numérique	8	2	Comment aime...	{1,00, fraich...	Aucun	8
9	Q5	Numérique	8	2	Quel type de ve...	{1,00, natur...	Aucun	8
10	Q6	Numérique	8	2	Comment vous ...	{1,00, froid}...	Aucun	8
11	Q7	Numérique	8	2	Trouvez-vous c...	{1,00, tres a...	Aucun	8
12	Q8	Numérique	8	2	Quel est le nive...	{1,00, tres c...	Aucun	8
13	Q9	Chaîne	2	0	A Partir de quel...	Aucun	Aucun	8
14	Q10	Numérique	8	2	Quel est le nive...	{1,00, tres fr...	Aucun	8
15	Q11	Numérique	8	2	En été, comme...	{1,00, tres a...	Aucun	8
16	Q12	Numérique	8	2	En hiver, comm...	{1,00, tres a...	Aucun	8
17	Q13	Numérique	8	2	La ventilation d...	{1,00, insuffi...	Aucun	8
18	Q14	Numérique	8	2	Vous vous sent...	{1,00, tres s...	Aucun	8
19	Q15	Numérique	8	2	L'air intérieur du...	{1,00, humi...	Aucun	8
20	Q16	Numérique	8	2	Comment vous ...	{1,00, acce...	Aucun	8
21	Q17	Numérique	8	2	Etes-vous glob...	{1,00, oui}...	Aucun	8
22								
23								
24								

Name : nom de la variable

- Le nom de la variable doit être unique.
- Max. 64 caractères.
- Débutant par une lettre.
- Les autres caractères peuvent être une lettre, un chiffre, un point ou les symboles @_#$ (tous les autres symboles sont interdits).
- Le nom ne peut pas se terminer par un point.
- Les espaces vides ne sont pas possible, il faut mettre _.

Type : nature de la variable (numérique, date, dollar.)

- Par défaut, SPSS considérera la variable de type numérique.
- Peut être changé dans la boîte de dialogue qui s'ouvre en appuyant sur  (symbole qui apparaît quand on sélectionne la cellule).

Width : nombre de chiffres accordés à la donnée (décimaux inclus).

Decimals : nombre de decimals.

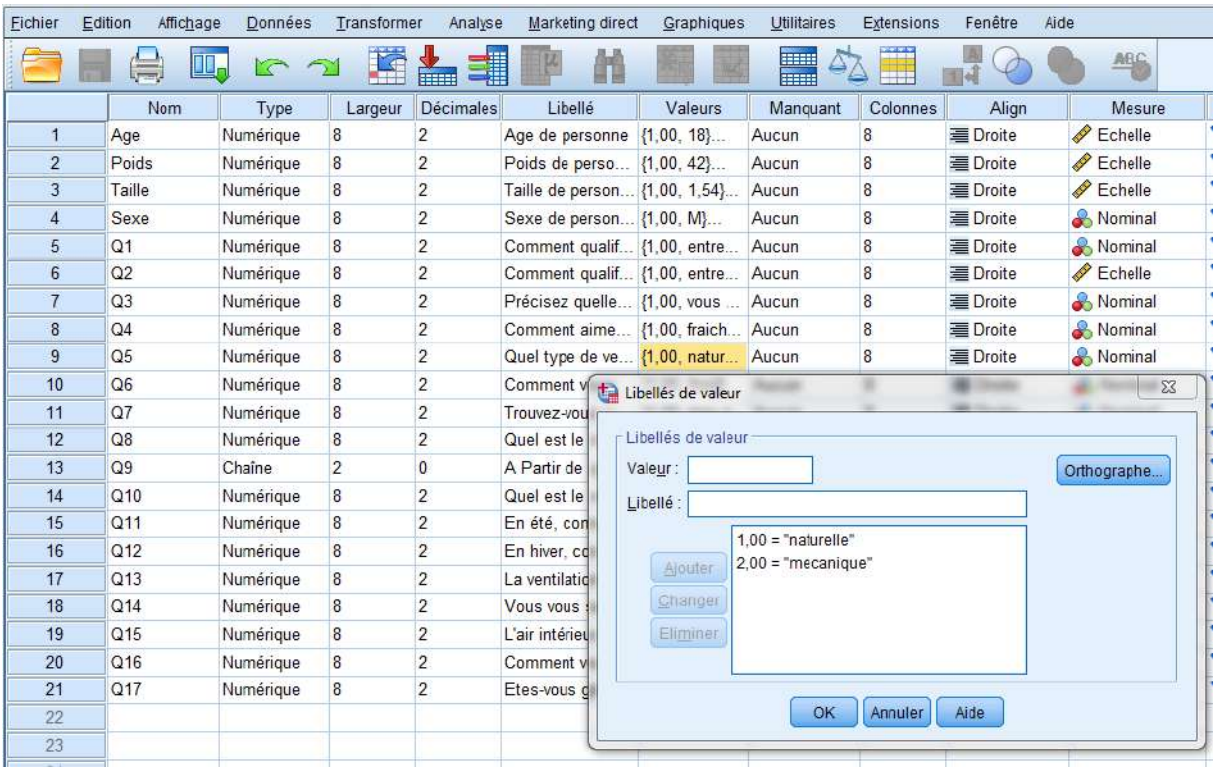
Label : étiquette ou description de la variable

- Max. 256 caractères.

Values : valeurs définies et leur description

- Par exemple 1= femme, 2 = homme ou comme dans l'exemple ci-dessus 1= morgen, 2=nachmittag etc.
- Peuvent être définit dans la boîte de dialogue qui s'ouvre en cliquant sur 

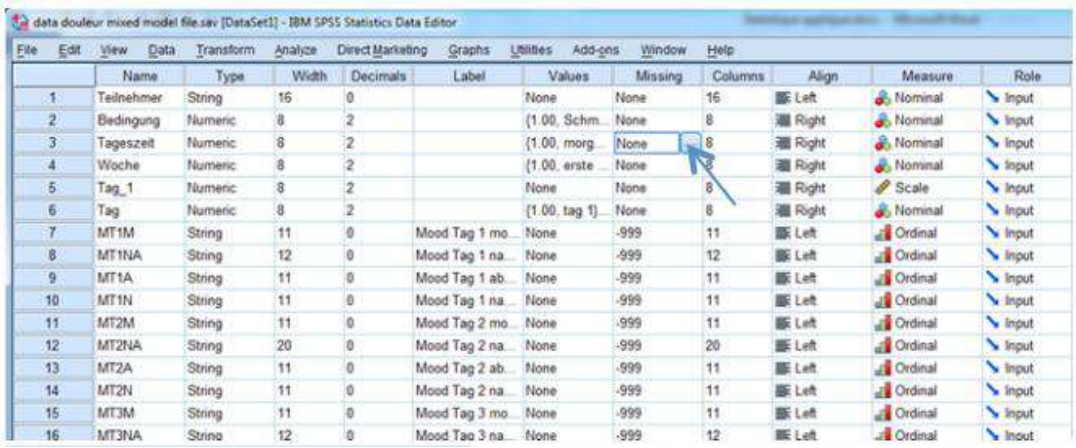
- ce qui apparaît quand on choisit la cellule.



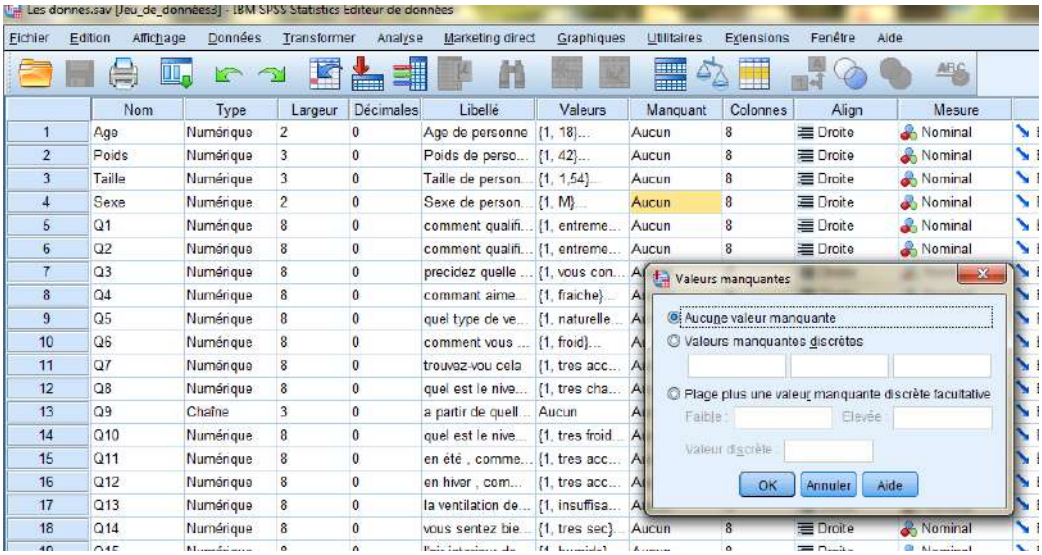
	Nom	Type	Largeur	Décimales	Libellé	Valeurs	Manquant	Colonnes	Align	Mesure
1	Age	Numérique	8	2	Age de personne	{1,00, 18}...	Aucun	8	Droite	Echelle
2	Poids	Numérique	8	2	Poids de perso...	{1,00, 42}...	Aucun	8	Droite	Echelle
3	Taille	Numérique	8	2	Taille de person...	{1,00, 1,54}...	Aucun	8	Droite	Echelle
4	Sexe	Numérique	8	2	Sexe de person...	{1,00, M}...	Aucun	8	Droite	Nominal
5	Q1	Numérique	8	2	Comment qualif...	{1,00, entre...	Aucun	8	Droite	Nominal
6	Q2	Numérique	8	2	Comment qualif...	{1,00, entre...	Aucun	8	Droite	Echelle
7	Q3	Numérique	8	2	Précisez quelle...	{1,00, vous ...	Aucun	8	Droite	Nominal
8	Q4	Numérique	8	2	Comment aime...	{1,00, fraich...	Aucun	8	Droite	Nominal
9	Q5	Numérique	8	2	Quel type de ve...	{1,00, natur...	Aucun	8	Droite	Nominal
10	Q6	Numérique	8	2	Comment v					
11	Q7	Numérique	8	2	Trouvez-vou					
12	Q8	Numérique	8	2	Quel est le					
13	Q9	Chaîne	2	0	A Partir de					
14	Q10	Numérique	8	2	Quel est le					
15	Q11	Numérique	8	2	En été, con					
16	Q12	Numérique	8	2	En hiver, co					
17	Q13	Numérique	8	2	La ventilatio					
18	Q14	Numérique	8	2	Vous vous					
19	Q15	Numérique	8	2	L'air intérieu					
20	Q16	Numérique	8	2	Comment v					
21	Q17	Numérique	8	2	Etes-vous g					
22										
23										

Missing : attribution de certaines valeurs comme codes pour valeurs manquantes

- Attention : « none » ne signifie pas qu'il n'ya pas de valeurs manquantes définit par L'utilisateur.



	Name	Type	Width	Decimals	Label	Values	Missing	Columns	Align	Measure	Role
1	Teilnehmer	String	16	0		None	None	16	Left	Nominal	Input
2	Bedingung	Numeric	8	2		{1.00, Schm...	None	8	Right	Nominal	Input
3	Tageszeit	Numeric	8	2		{1.00, morg...	None	8	Right	Nominal	Input
4	Woche	Numeric	8	2		{1.00, erste ...	None	8	Right	Nominal	Input
5	Tag_1	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale	Input
6	Tag	Numeric	8	2		{1.00, tag 1}...	None	8	Right	Nominal	Input
7	MT1M	String	11	0	Mood Tag 1 mo...	None	-999	11	Left	Ordinal	Input
8	MT1NA	String	12	0	Mood Tag 1 na...	None	-999	12	Left	Ordinal	Input
9	MT1A	String	11	0	Mood Tag 1 ab...	None	-999	11	Left	Ordinal	Input
10	MT1N	String	11	0	Mood Tag 1 na...	None	-999	11	Left	Ordinal	Input
11	MT2M	String	11	0	Mood Tag 2 mo...	None	-999	11	Left	Ordinal	Input
12	MT2NA	String	20	0	Mood Tag 2 na...	None	-999	20	Left	Ordinal	Input
13	MT2A	String	11	0	Mood Tag 2 ab...	None	-999	11	Left	Ordinal	Input
14	MT2N	String	11	0	Mood Tag 2 na...	None	-999	11	Left	Ordinal	Input
15	MT3M	String	11	0	Mood Tag 3 mo...	None	-999	11	Left	Ordinal	Input
16	MT3NA	String	12	0	Mood Tag 3 na...	None	-999	12	Left	Ordinal	Input



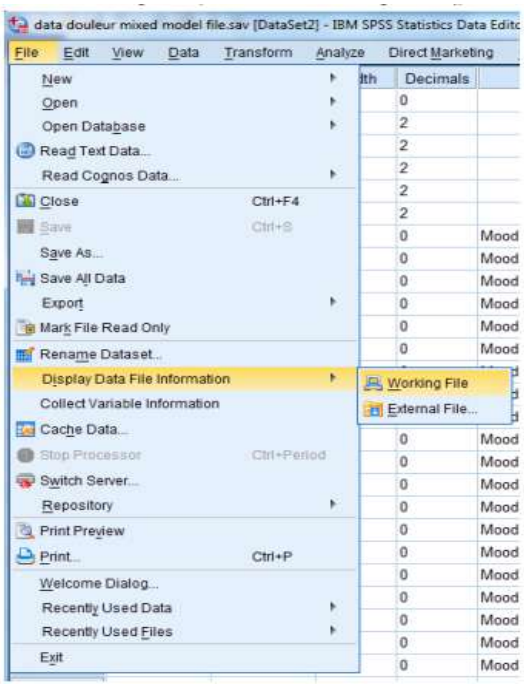
	Nom	Type	Largeur	Décimales	Libellé	Valeurs	Manquant	Colonnes	Align	Mesure
1	Age	Numérique	2	0	Age de personne	{1, 18}...	Aucun	8	Droite	Nominal
2	Poids	Numérique	3	0	Poids de perso...	{1, 42}...	Aucun	8	Droite	Nominal
3	Taille	Numérique	3	0	Taille de person...	{1, 1,54}...	Aucun	8	Droite	Nominal
4	Sexe	Numérique	2	0	Sexe de person...	{1, M}...	Aucun	8	Droite	Nominal
5	Q1	Numérique	8	0	comment qualifi...	{1, entreme...	Aucun	8	Droite	Nominal
6	Q2	Numérique	8	0	comment qualifi...	{1, entreme...	Aucun	8	Droite	Nominal
7	Q3	Numérique	8	0	precidez quelle ...	{1, vous con...	Aucun	8	Droite	Nominal
8	Q4	Numérique	8	0	commant aime...	{1, fraiche}...	Aucun	8	Droite	Nominal
9	Q5	Numérique	8	0	quel type de ve...	{1, naturelle...	Aucun	8	Droite	Nominal
10	Q6	Numérique	8	0	comment vous ...	{1, froid}...	Aucun	8	Droite	Nominal
11	Q7	Numérique	8	0	trouvez-vou cela	{1, tres acc...	Aucun	8	Droite	Nominal
12	Q8	Numérique	8	0	quel est le nive...	{1, tres cha...	Aucun	8	Droite	Nominal
13	Q9	Chaîne	3	0	a partir de quell...	Aucun	Aucun	8	Droite	Nominal
14	Q10	Numérique	8	0	quel est le nive...	{1, tres froid...	Aucun	8	Droite	Nominal
15	Q11	Numérique	8	0	en été , comme...	{1, tres acc...	Aucun	8	Droite	Nominal
16	Q12	Numérique	8	0	en hivor , com...	{1, tres acc...	Aucun	8	Droite	Nominal
17	Q13	Numérique	8	0	la ventilation de...	{1, insuffisa...	Aucun	8	Droite	Nominal
18	Q14	Numérique	8	0	vous sentez bie...	{1, tres sec}...	Aucun	8	Droite	Nominal

Columns : largeur des colonnes dans la vue de données (en augmentant/diminuant le défault « 8 », plus/moins de caractères de la colonne seront visibles dans la vue de données)

Align : Alignement des valeurs des variables dans les cellules de la grille de données (àdroite, à gauche, centrées)

Measure : Description de l'échelle de mesure (continue (scale), ordinal ou nominal) Important ! les valeurs et labels indiqués dans cette fenêtre ne sont qu'indicatifs ! modifier les labels et valeurs ne modifiera pas les données rentrées dans la fenêtre Data View ! Il s'agit d'un aide-mémoire !

Menu file : obtenir les informations sur les variables dans un format imprimable Pour obtenir toutes les informations sur les variables dans un format imprimable, il faut cliquer sur file /display data file information / working file. Les informations sont transférées dans une nouvelle fenêtre (SPSS viewer). Cette page des résultats peut être sauvegardée et/ou imprimée. Les éléments peuvent être copiés et collés dans un document géré par un autre logiciel (p.ex. word).



Menu file : ouvrir et sauvegarder des fichiers de données.

Dans le menu « file » on troube toutes les commandes pour gérer les fichiers SPSS (ouvrir, sauvegarder, sauvegarder sous...)- pareil aux autres logiciels Windows [26] .

III.10 Enregistrement des données

On enregistre les données en exécutant l'option save as du menu file. Dans un premier temps, on choisit l'emplacement sur le quel on veut enregistrer le fichier (bouton enregistrer dans). Dans un deuxième temps, on entre un nom dans la fenêtre nom du fichier ; ensuite on clique sur le bouton enregistrer.

L'extension d'un fichier de données SPSS est « sav » et cette extension s'inscrit automatiquement à la suite du nom de votre fichier. Si vous voyez un fichier du type « now.sav » sachez que c'est un fichier de données SPSS.

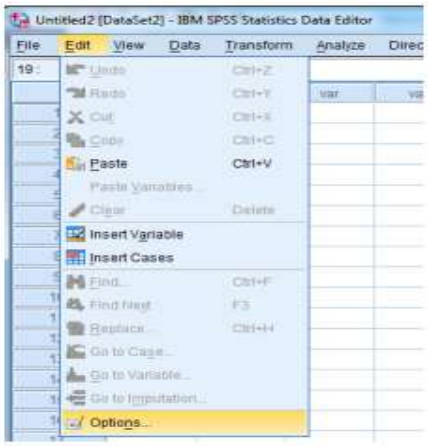
Pour ajouter des données à un fichier déjà existant : cliquez simplement sur save (pas « save as »).

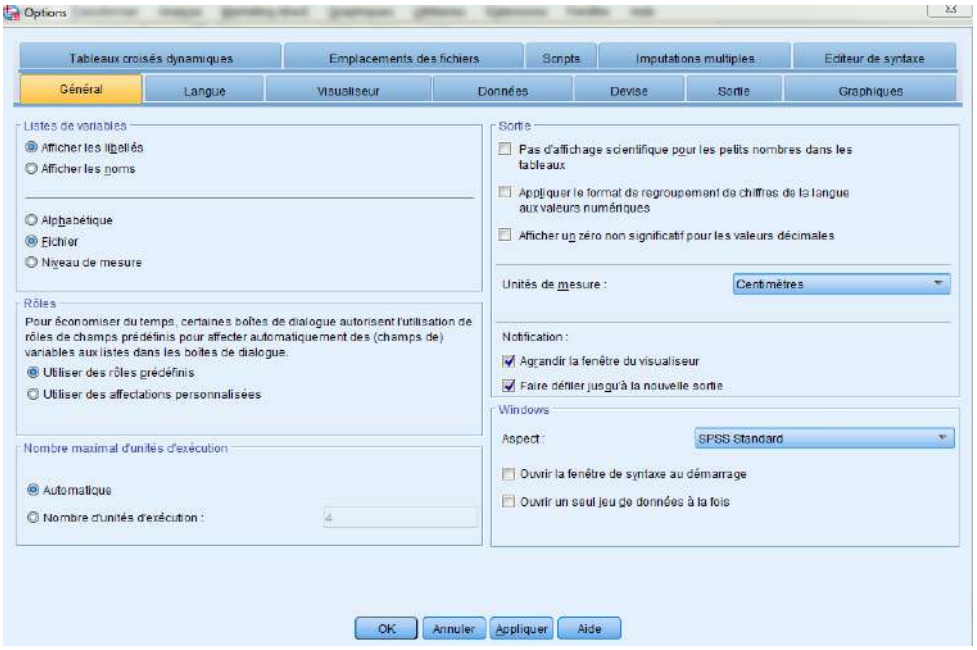
L'ordinateur va ajouter les nouvelles données à votre ancien dossier. Si vous cliquez « save as » le programme va créer une nouvelle base de données avec les nouvelles données ajoutées aux anciennes [30] .

III.11 Informations compactes sur les variables dans un fichier de données

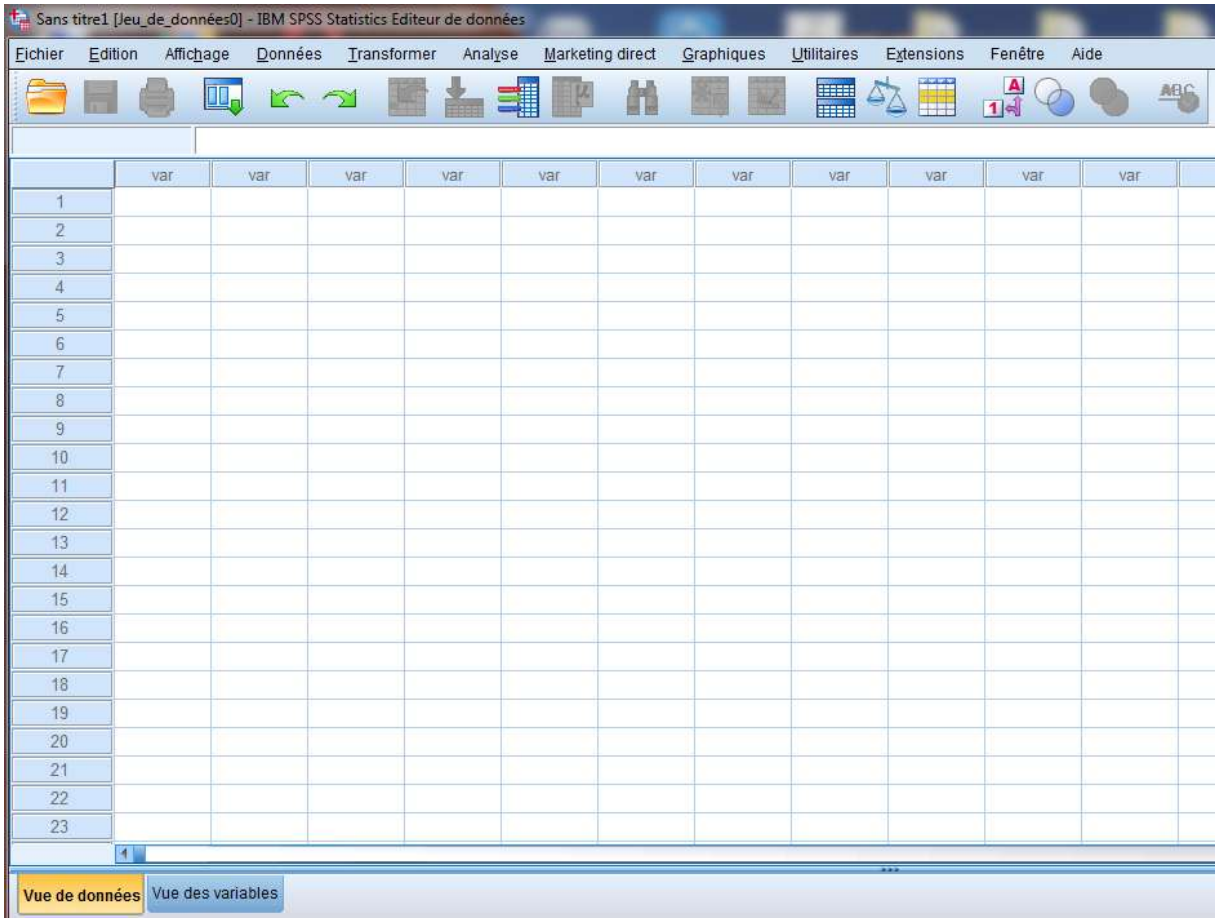
Menu utilities : dans le menu utilities / variables on peut consulter les caractéristiques de toutes les variables. Quand vous travaillez avec un fichier avec beaucoup de variables, cette option a l'avantage de trouver des variables en tapant les premières lettres du nom de la variable. En appuyant sur le bouton « go to » on arrive à la variable cherchée dans la vue de données.

Menu Edit : en général, il est plus facile de trouver des variables dans les listes des boîtes dialogue quand elles sont affichées par leur nom (variable nom) et pas par leur étiquette (variable label). En plus, il est recommandé de choisir le même ordre que dans le fichier (au lieu d'un ordre alphabétique). Pour cela, il faut aller sous edit / options : général variable liste display names (au lieu de labels), file (au lieu de alphabetical).





Menu View : pour passer de la vue des données à la vue des variables et vice versa, il faut cliquer sur variable View (respectivement « data view ») dans le coin inférieur gauche de la grille des données ou via le menu view variable (respectivement data) [31] .



III.12 Les différentes fenêtres de SPSS

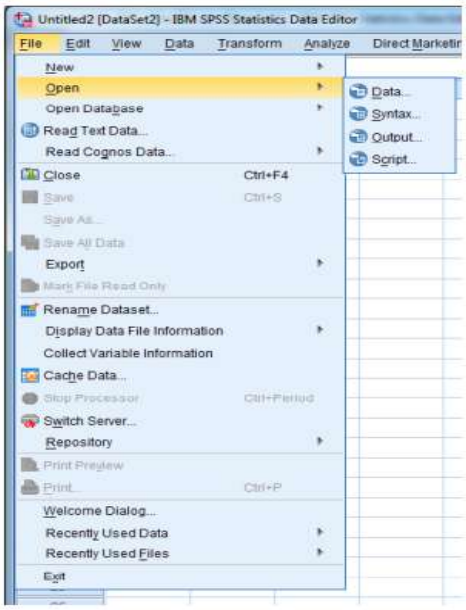
III.12.1 Fenêtre de données (Data editor) :

Cette fenêtre permet d'entrer des données, de les modifier ou de les effacer. Il est rare que l'on tape les données manuellement dans SPSS car il y a trop d'erreurs de saisie possibles. On va plutôt ouvrir un fichier déjà existant [27] .

III.12.2 Fenêtre des résultats (output editor) :

Cette fenêtre apparaît après qu'une commande d'analyse a été effectuée, et contient les résultats de cette analyse. Les résultats apparaissent à droite dans la fenêtre. A gauche, figure une table des matières des résultats générés par SPSS. Les résultats peuvent être imprimés tels (mais avec le risque de voir un tableau s'imprimer sur plusieurs pages. Il est également

possible de copier les tableaux qui nous intéressent pour les coller ensuite dans Word, Excel ou dans un autre logiciel. Il est possible de copier un tableau de deux manières. En cliquant sur le tableau en appuyant sur le bouton de droite de la souris, SPSS vous propose de copier (copy) ou de copier l'objet (copy object). Copier correspond à copier les valeurs, mais lorsqu'il est collé il peut perdre son format (utile pour copier les résultats dans une feuille Excel par exemple). Copier les objets corresponds à copier les valeurs et le format du tableau : une fois collé, impossible de modifier les cellules du tableau (utile pour copier les résultats dans Word). Parfois, le résultat est très long et SPSS n'en montre qu'une partie suivi d'un triangle rouge. Pour visualiser la suite, il faut double-cliquer sur le texte, puis étendre la taille de la zone de texte vers le bas jusqu'à ce que vous ne voyez plus le texte.



Fenêtre de syntaxe (syntaxe editor) Jusqu'à maintenant, nous avons vu comment travailler avec les menus déroulant. Il existe une autre manière de lancer des analyse : passer par la fenêtre de syntaxe. Cette fenêtre permet d'écrire les commandes d'analyses statistiques. Elle fonctionne comme un traitement de texte simple. Mais pourquoi s'amuser à taper les analyses quand il suffit de faire défiler des menus et cliquer sur des icônes ? Parce que lorsqu'on veut refaire une analyse qu'on a déjà effectuée et juste changer n paramètre, il suffit de reprendre la feuille de syntaxe de l'analyse précédente, changer un mot et renvoyer l'analyse. Sinon, il faudrait recommencer toute l'analyse de A à Z, vu, qu'on ne peut pas enregistrer la séquence de clics. De plus, les menus ne donnent pas accès à toutes les commandes SPSS. Finalement, c'est aussi utile pour faire la même analyse sur plusieurs fichiers de données. Ainsi, une fois

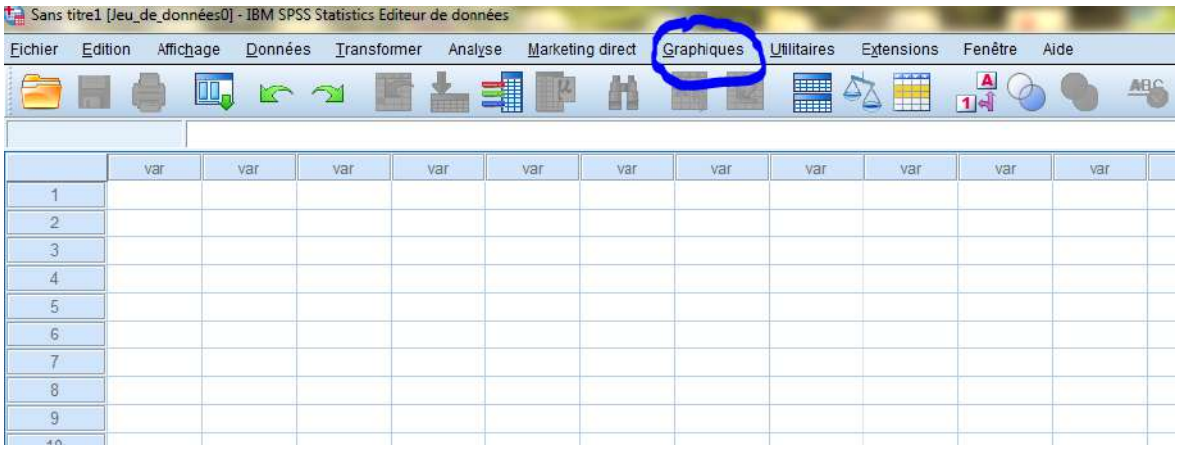
la syntaxe faite pour une opération, il est facile d'enregistrer les commandes et de les réutiliser pour différents fichiers de données [26] .

III.12.3 Voici les règles générales pour écrire des commandes dans SPSS :

- Chaque nouvelle commande se trouve en tête de ligne, précédée d'aucun espace
- Les options qui suivent une commande débutent sur la ligne suivante et sont précédées d'au moins un espace et d'une barre oblique (/).
- Chaque commande doit absolument se terminer par un point.
- Lorsqu'on spécifie un nom de fichier, il doit être « entre guillemets »
- SPSS ne fait pas de différence entre les lettres majuscules et minuscules. Vous pouvez taper les commandes autant d'une manière ou de l'autre
- De plus, entre les commandes, vous pouvez insérer des lignes vides. SPSS les ignore, mais elles peuvent améliorer la lisibilité des commandes quand il y en a plusieurs dans une fenêtre. Pour exécuter une commande, il faut sélectionner la commande à exécuter puis choisir dans le menu « run : current » ou encore Ctrl-R ou encore utiliser le bouton 'run' (?). Vous pouvez enregistrer votre script pour le modifier plus tard (menu File / save). Vous pouvez aussi enregistrer la fenêtre de résultats bien que très souvent, il en résulte un fichier énorme (que vous ne pourrez sauvegarder sur une disquette). Cependant, tant et aussi longtemps que vous avez votre syntaxe et vos données, vous pouvez toujours exécuter la syntaxe à nouveau pour revoir les résultats [26] .

III.13 Menu graphs : Refaire le graphe du cours

Le menu graphique permet de générer en quelques cliques de souris toute une panoplie de graphiques.



III.14 Menu help

SPSS offre plusieurs niveaux d'aide. Le menu aide de la plupart des fenêtres SPSS permet d'accéder au système d'aide principal, ainsi qu'aux didacticiels et aux informations de référence technique.

- **Rubriques (Topics) :** les rubriques permettent d'accéder aux onglets sommaires, index et rechercher, que vous pouvez utiliser pour chercher des rubriques d'aide particulières
- **Didacticiel (Tutorial) :** Instructions illustrées et détaillées étape par étape vous expliquant comment utiliser de nombreuses fonctions de base de SPSS. Il n'est pas nécessaire de visualiser le didacticiel du début à la fin. Vous pouvez choisir les rubriques à visualiser, ignorer et visualiser des rubriques dans l'ordre de votre choix, et utiliser l'index ou le sommaire pour rechercher des rubriques données.
- **Etude de cas (case studies) :** exemples pratiques indiquant comment créer différents types d'analyse statistique et comment interpréter les résultats. Les fichiers de données d'exemple utilisés dans ces cas pratiques vous sont également fournis afin que vous puissiez voir exactement comment les résultats ont été générés. Vous pouvez choisir à partir du sommaire les procédures sur lesquelles vous souhaitez obtenir des informations ou rechercher des rubriques appropriées dans l'index
- Working with R .
- **Assistant statistique (statistique coach) :** vous aide à rechercher la procédure que vous souhaitez utiliser. Une fois vos sélections effectuées, l'assistant statistique ouvre la boîte de dialogue de la procédure statistique, de rapport ou de diagramme qui correspond aux critères sélectionnés. L'assistant statistique ouvre la boîte de dialogue de la procédure statistique, de rapport ou de diagramme qui correspond aux critères sélectionnés.

L'assistant statistique permet d'accéder à la plupart des procédures statistiques et de rapport du système de base, et à de nombreuses procédures de diagramme.

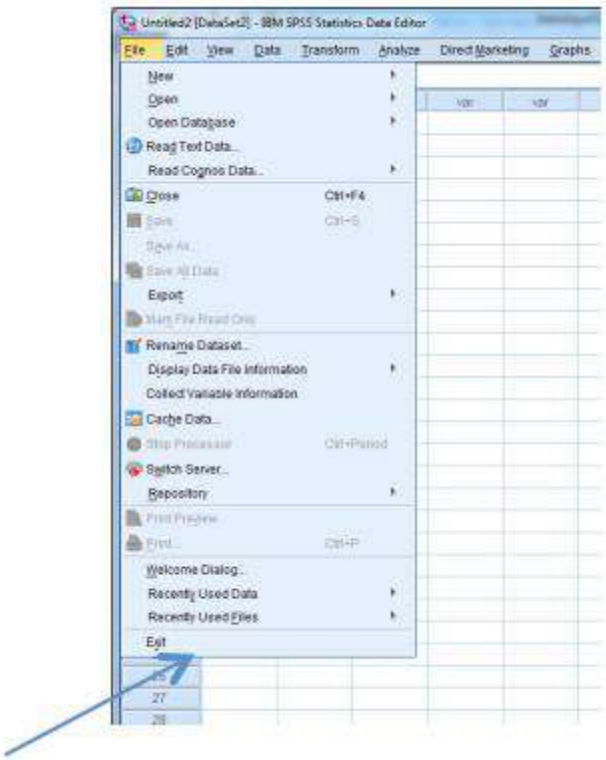
- **Command syntaxe référence :** vous trouverez des informations détaillées de référence de syntaxe des commandes dans le manuel SPSS Command Syntaxe référence, accessible via le menu aide.
- SPSS community [27].



III.15 Quitter SPSS

Sur PC : on exécute l'option exit du menu File pour quitter SPSS. Le logiciel vous demande si vous voulez vraiment quitter l'application, cochez oui.

Sur MAC : on exécute l'option quit SPSS du menu SPSS (qui se trouve à gauche du menu File). Le logiciel vous demande si vous voulez sauver les données contenues dans chaque fenêtre avant de quitter, répondez oui [28].



III.16 Les inconvénients

Créée à des fins pédagogiques, la version étudient ne doit être utilisée que par des étudiants et des instructeurs dans un contexte de formation. La version étudient ne contient pas toutes les fonctions du système SPSS Base Les restrictions suivantes s'appliquent à la version Windows étudient de SPSS :

- Les fichiers de données ne peuvent pas contenir plus de 50 variables.
- Les fichiers de données ne peuvent pas contenir plus de 1 500 observations. Les modules SPSS supplémentaires (tels que les modèles de régression ou les modèles avancés) ne peuvent pas être utilisés avec la version étudient.
- La syntaxe de commande SPSS n'est pas disponible. En effet, contrairement à la version complète de SPSS, la version étudient ne permet pas de répéter une analyse en enregistrant une série de commandes dans une syntaxe ou un fichier de tâche.
- L'utilisateur ne peut ni écrire des scripts, ni automatiser des tâches. En effet, contrairement à la version complète de SPSS, la version étudient ne permet pas de créer des scripts afin d'automatiser les tâches répétitives [28].

CHAPITRE N°IV

RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV. Introduction

Dans ce chapitre nous allons étudier et analyser les différentes données liées au bilan thermique ou le confort thermique. Ce chapitre est devisé en quatre parties, tel que, la première partie expliquera l'effet des murs végétalisés sur le bilan thermique. Ainsi, la deuxième partie est consacrée aux calculs des effets thermiques du corps humain. La troisième partie traite le modèle de FANGER, dans la quatrième partie, un questionnaire sur le confort thermique a été réalisé au sein de la bibliothèque de la faculté de technologie de l'université de Médéa. Pour facilité les calculs on utilise le logiciel de l'Excel pour le traitement de résultats de la simulation.

IV.1 Partie 01 : Comparaison entre les murs ordinaires et les murs constitués d'une couche végétale

Le Document Technique Réglementaire (DTR) est utilisé pour déterminer les apports calorifiques des bâtiments et la vérification de la conformité à la réglementation thermique d'été des bâtiments. Le but de ce document est estimé le bilant estival (climatisation).Dans ce partie nous effectuons une comparaison entre les murs simple et les murs constitués une couche végétale en utilisant les équations de DTR pour calculer et vérifier les apports calorifiques.

IV.1.3 Les caractéristiques géométriques

Désignation de local	Repère	Nombre d'occupants	Hauteur (m)	Les appareils électriques	(%)	Température (°C)	Surface (m^2)
S.de réunion	S.R	12	3.06	0	60%	25	69,56

IV.1.4 Les caractéristiques surfaciques

- Les parois extérieure (double cloison) premier mur ver le sud S=20,967 m^2. avec comporte 2 fenêtré S=0.8m×1.2 m .
- deuxième mur ver le nord S= 20,967 m^2. avec comporte 2 fenêtre S=1.2m×1.4 m
- troisième mur ver l'est S= 20,799. comporte une grande porte en bois de 1.56m × 2.60 m et avec comporte 2 fenêtré S=0.8m×1.2 m
- (avec K_{me} = 1.46 W/m^2.°C) .
- (avec K_f = 3.55 w/m^2.°c) .
- Le paroi intérieure (en contact avec l'espace non climatisé) S= 22,787 m^2, elle comporte une petite porte en bois de 0.94m × 2.20 m .
- avec K_{mi} = 2.32 w/m^2.°c , K_{po} = 3 w/m^2.°c) .
- Le plancher haut du local S=69.562 m^2 (avec K_{toit} =0.43 W/m^2.°C) .

IV.1.5 Les températures

- $TS_{b,e}$= 40°C et TS_m = 26.5 °C .
- $TS_{b,i}$ = 25°C (la température intérieure climatisé) .
- $HS_{b,e}$ =11g_{vap}/kg_{as} (humidité spécifique extérieure) .
- $HS_{b,i}$ =10g_{vap}/kg_{as} (humidité spécifique intérieure) .

IV.1.6 K_{me} (K du mur double cloison simple)

Le coefficient K_{me} et donné par la formule suivante :

$$K_{me} = 1/ [(1/h_i) + (1/h_e) + \Sigma R]$$

Où :

- Σ R (en m^2.°C/W) représente la somme des résistances thermiques des différentes couches de matériaux constituant la paroi.

➢ la somme ($1/h_i+1/h_e$) en (m^2.°C/W) représente la somme des coefficients d'échange superficiel .

Remarque : Pour une paroi vertical en contacte avec l'extérieur on prend

Tableau 1: La résistance thermique d'un mur double cloison

	désignation	e (m)	λ(w/m.°c)	R=e/λ (m^2°C/w)
1	Enduit ciment	0.015	1,4	0,01
2	Brique creuse	0,1	0,58	0,172
3	Lame d'air			0,16
4	Brique creuse	0,1	0,58	0,172
5	Enduit ciment	0.015	1,4	0,01
6	Enduit plâtre	0,005	0,35	0,0142
				∑ R=0,539

$1/h_i+1/h_e$ = 0.14 m^2. °C/W

Kme =1/ (0.14+0,539)= 1,472 W/m2.°C

IV.1.7 Calcul des apports calorifiques

Remarque : pour facilité et rapidité les calcule on utilise le programme l'Excel pour programmer les équations (1 jusqu'a 22).

IV.1.7.1 Apportes à travers les parois opaques

$$APO\ (15h)= 1.2\times K_{été}\times S_{int}\times \Delta te\ (15h)\ \text{……..(IV-1)}$$

Paroi ensoleillée :

$$\Delta te(t) = \Delta tes(t)+C_{\Delta te} + \alpha/0.9\times [\Delta tem(t)- \Delta tes(t)] \times I_{t,b} / I_{t,b(40)}\text{…….(IV-2)}$$

Paroi à l'ombre 24h/24 :

$$\Delta te(t) = \Delta tes(t)+C_{\Delta te}\text{…….(IV-3)}$$

Avec :

- Kmé = 1.46 (W/m².°C).
- S m1 = 20.967 (m²).
- S m2 = 20.799 (m²).
- S m3 = 20.967 **(**m²).

Résumer le résultat dans le tableau suivant :

Tableau 2 : APO(t) externe

APO(t) exté	En Soleiller	CoefMj	K_mé	S	Δtes(t)	C_Δte	α	Δtem(t)	I_d,b	I_d,40	Δte(t)	Résultat	
	Mure 01	1,2	1,46	20,967	4,4	0,85	0,5	13,9	217	217	10,527	386,729	S
	Mure 02	1,2	1,46	20,799	4,4	0,85	0,5	7,2	516	516	6,805	247,993	E
	grand Porte	1,2	3	4,056	4,4	0,28	0,5	10,6	516	516	8,124	118,629	
	A L'ombre	Coef M	K_mé	S	Δtes(t)	C_Δte					Δte(t)		
	Mure 03	1,2	1,45	20,967	4,4	0,85					5,25	191,533	N

IV.1.7.2 Parois intérieures

$$APO\ (15h) = K_{été} \times S_{int} \times \Delta tInc(15h) \ldots\ldots\ldots\ldots (IV\text{-}4)$$

Δ tlnc est donné par la formule suivante :

$$\Delta tInc\ (15h) = [(TSe\ (15h) - C_{lnc}) - TS_{b,i}] \ldots\ldots\ldots\ldots (IV\text{-}5)$$

Avec:

- K mi = 2.32 (W/m². °C).
- S m4= 22,71 (m²).
- $TS_e(t)$ = 44 (°C).
- $TS_{b,\ i}$ = 24(°C).

Résumer le résultat dans le tableau suivant :

Tableau 3: APO(t) interne

APO(t) inte	Non conditionner	K_mi	S_int	TS_e(t)	C_inct	TS_b,i	ΔTInc	OPA(t)	Résultat
	Mure 04	2,32	22,787	40	6	25	9	475,792	O
	Petite Porte	3	2,068	40	6	25	9	55,836	

IV.1.7.3 Parois en contacte avec le toit

$$APO\ (15h) = 1.2 \times K_{été} \times S_{int} \times \Delta te(15h) \ldots\ldots\ldots\ldots (IV\text{-}6)$$

Paroi ensoleillée :

$$\Delta te(t) = \Delta tes(t) + C_{\Delta te} + \alpha/0.9 \times [\Delta tem(t) - \Delta tes(t)] \times I_{t,b} / I_{t,b(40)} \ldots\ldots\ldots\ldots (IV\text{-}7)$$

Avec :

- K toit = 0.43 (W/m². °C).
- S toit = 69,562 (m²).

Résumer le résultat dans le tableau suivant :

Tableau 4: APO(t) toiture

Apo(t) Toit	En Soleiller	Coef Mj	K_mé	S	Δtes(t)	C_Δte	α	Δtem(t)	I_d,b	I_d,40	Δte(t)	Résultat	
	Toit	1,2	0,43	69,562	17,2	0,85	0,5	3,3	734	734	10,327	370,707	h

Résumer les tableaux président dans seul tableau :

Tableau 5: APO(t)

	En Soleiller	Coef Mj	K_mé	S	Δtes(t)	C_Δte	α	Δtem(t)	I_d,b	I_d,40	Δte(t)	Résultat	
APO(t) exté	Mure 01	1,2	1,46	20,967	4,4	0,85	0,5	13,9	217	217	10,527	386,729	S
	Mure 02	1,2	1,46	20,799	4,4	0,85	0,5	7,2	516	516	6,805	247,993	E
	G.Porte	1,2	3	4,056	4,4	0,28	0,5	10,6	516	516	8,124	118,629	
	A L'ombr	Coef Mj	K_mé	S	Δtes(t)	C_Δte					Δte(t)		
	Mure 03	1,2	1,45	20,967	4,4	0,85					5,25	191,533	N
APO(t) inte	Non condition	K_mi	S_int	TS_e(t)	C_inct	TS_b,i					ΔTInc		
	Mure 04	2,32	22,787	40	6	25					9	475,792	O
	P.Porte	3	2,068	40	6	25					9	55,836	
Apo(t) Toit	En Soleiller	Coef Mj	K_mé	S	Δtes(t)	C_Δte	α	Δtem(t)	I_d,b	I_d,40	Δte(t)		
	Toit	1,2	0,43	69,562	17,2	0,85	0,5	3,3	734	734	10,327	370,707	
											Totale	1847,222	

Donc $APO(t) = 1847,222\ (W)$

IV.1.7.4 Apports à travers les parois vitrées

$$AV(t)= AVT(t)+ AVE(t)\text{……..(IV-8)}$$

$$AVT(t)= 1.2\times K_{été}\times S_{ouv}\times[TS_e(t)-TS_{b,i}]\text{……(IV-9)}$$

$$AVE\ (t)= [SV_{ens} \times I_t + (SV - Sv_{ens}) \times I_d]\times FS\times N_{PVI}(t)\text{…….(IV-10)}$$

Avec :

- $SV_g= S_{ouv} = 1.68\ (m^2)$.
- $SV_p= S_{ouv} = 0.96\ (m^2)$.

- $K_{fené} = 3.55$ $(w/m^2.°c)$.
- $TS_{b,e} = 40$ (°C) .
- $TS_{b,i} = 25$ (°C) .
- Le rayonnement total maximal réel $\mathbf{I_t}$ et le rayonnement diffus maximal réel $\mathbf{I_d}$ sont donnés par :

$$I_t = [C_{cadre} \times C_{limp} \times C_{alt} \times C_{ros}] \times I_{t,b} \ldots\ldots\ldots \text{(IV-11)}$$

$$I_d = [C_{cadre} \times C_{limp} \times C_{alt} \times C_{ros}] \times I_{d,b} \ldots\ldots\ldots \text{(IV-12)}$$

Avec :

- $C_{cadre} = 1$.
- $C_{limp} = 1$.
- $C_{alt} = 1.021$.
- $C_{ros} = 1.05$.

Calculer la surface en solaire (SV_{ens}) :

On a:

$$SV_{ens} = (H - H_0)(L - L_0)$$

$$L_0 = R\,tg\beta \quad ; \quad H_0 = R\,tgh/cos\beta \quad ; \quad \beta = a - a_m$$

$$Sina = cos\delta\ sinw/cosh$$

$\delta = 23.45 \sin(360/365\,(N+284))$

le 21 juillet a 15h : N=202

$$w\,(15h) = 45^0 \quad ; \quad \delta = 20.44 \; ; \varphi = 36.27^0$$

$$Sinh = sin\delta\ sin\varphi + cos\delta\ cos\varphi\ cosw = sin20.44\ sin36.27 + cos20.44\ cos36\ cos45$$

$sinh = 0.740$; $h = 47.78^0$

$$sina = cos20.44\ sin45/cos47.78$$

$Sina = 0.986$; $a = 80.40$

Ouest: $S_{ens} = 1.569 m^2$; Avec : $a_m = 90°$

Est: $S_{ens} = 1.836 m^2$; Avec : $a_m = -90°$

Nord: $S_{ens}= 0m^2$; Avec : $a_m= 180°$

Sud: $S_{ens}= 0.451m^2$; Avec : $a_m= 0°$

I_t, I_d : (voir le tableau suivant)

Tableau 6: AVT(t)

	SE	A	a m	h	β	H	H 0	L	L 0	SV ens	I t	SV	Id	F s	Npiv		Résulta
AVE (t)	2	80,4	180	47,84	-99,6	1,4	-0,66	1,2	0,59	0	51,58	1,68	50,386	1	0,96	N	162,525
	2	80,4	0	47,84	80,4	1,4	0,66	1,2	0,59	0,451	51,58	1,68	232,634	1	0,67	S	429,557
	2	80,4	-90	47,84	170,4	1,4	-0,11	1,2	-0,016	1,836	51,58	0,96	553,177	1	0,23	E	-33,530
		80,4	90	47,84	-9,6	1,4	0,11	1,2	-0,016	1,568	51,58	0	553,177	1	0,61	O	0

Tableau 7 : AVE(t)

	SE	Coef	K fenêtres	Sou	Tse	Tsi	Résultat
AVTt(t)	4	1,2	3,55	1,68	40	25	429,408
	2	1,2	3,55	0,96	40	25	122,688

Donc : AV(t)= 1110,647 (W)

IV.1.7.5 Apports des chaleurs internes

$$AI(t)=\sum_j(CS_j \times AI_{S.j} \times N_{Al.j}) + (\sum_j(CS_j \times AI_{l.j}) \ldots\ldots\ldots \text{(IV-13)}$$

Avec :

- Occupant (10)
- Appareille électrique (0)
- Eclairage fluorescent (6)

Résumer le résultat dans le tableau suivant :

Tableau 8 : AI(t)

		∑ j	CS j	AI sj	NAI j	AI lj		Somme AI(t)
Occupant		12	0,8	63	0,93	69		617,664
Machine éléc	Micro ordina	0	0,6	450	0,93	0		0
	Téléphone	0	0,6		0,93			0
	Impriment	0	0,6	336	0,93	0		0
	photocopieur 100 cop/h	0	0,6	100	0,93	0		0
		∑	W n	Cme	Ccr			
l'éclairage		6	60	1,25	0,35			157,5
							Total	775,164

Donc : AI(t) = 775,164 (W)

IV.1.7.6 Apports de chaleur par introduction d'air extérieur

Les gains sensibles :

$$ARENs\ (t) = 0{,}320 \times qvan \times (TSe(t) - TSb,i)\ldots\ldots\ldots..(\text{IV-14})$$

$$AINFs\ (t) = 0{,}320 \times qvinf \times (TSe(t) - TSb,i)\ldots\ldots\ldots\ldots..(\text{IV-15})$$

$$qvinf = \sum(qvo\ inf,i \times S\ ouv,i)\ldots\ldots\ldots\ldots(\text{IV-16})$$

Calculer qvinf :

Tableau 9 : Qvinf

q van	somme	qvo inf,i	s ouv,i	Résultat
	2	21,7	6,124	265,7816
	4	8,7	1,68	58,464
	2	8,7	0,96	16,704
			Total	340,9496

Résumer le résultat dans le tableau suivant :

Tableau 10 : AINFSs et ARENs

	coef	q van	Tse	Tsi	Somme	Total
AINFS s	0,32	340,9496	40	25		1636,55808
AREN s	0,32	18	40	25	12	1036,8

Les gains latents :

$$AINF\ l = 0{,}797 \times qvinf \times Max.\ [(HSb,e - HSb,i)] \text{……..(IV-17)}$$

$$AREN\ l = 0{,}797 \times qvan \times Max.\ [(HSbe - HSb,i)] \text{……(IV-18)}$$

Résumer le résultat dans le tableau suivant :

Tableau 11 : AINFS i et AREN i

	coef	q van	HS be	HS bi	Somme	Total
AINFS i	0,797	340,9496	11	10		271,736831
AREN i	0,797	18	11	10	12	172,152

En fin la somme tout les apports calorifiques présentés dans le tableau suivant :

Tableau 12 : La somme tout les apports

APO	AV	AI	Aref PH	Aref PV	Aref PVI	AINFS s	ARENs	AINFSi	AREN i	Total
1847,222	1110,647	775,164	1701,637	647,579	620,062	1636,558	1036,8	271,736	172,152	9819,560

IV.1.8 Vérification réglementaire

IV.1.8.1 Les apports calorifiques de référence

$$A_{réf} = A_{réf,PH} + A_{réf,PV} + A_{réf,PVI}$$

IV.1.8.2 Apports de référence des parois opaques horizontales

$$A_{réf,PH} = \sum (a \cdot S_{int} \cdot \Delta TS_{réf,PH}) \text{……(IV-19)}$$

Avec :

- a = 0.9 (en W/m².°C) (zone B, bureaux).
- S tiot =54.45 (m^2).
- $\Delta TS_{réf,PH}$ =13.59 (°C) (zone B, 500m ≤ alt ≤1000m, paroi en contact avec l'extérieur) .

Résumer le résultat dans le tableau suivant :

Tableau13 : $A_{réf\ PH}$

	A	S_{int}	$\Delta TS_{réf\ PH}$	Total
A réf PH	0,9	69,5625	13,59	850,818
	0,9	69,5625	13,59	850,818
				1701,637

Donc : $A_{réfPH} = 1701{,}637$

IV.1.8.3 Apports de référence des parois opaques verticales

$$A_{réf,PV} = \sum(c \,.\, S_{int} \,.\Delta TS_{réf,PV}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (\text{IV-20})$$

Avec :

- C= 1.2 (zone B, bureaux**)** (en W/m².°C)
- S int= (m^2)
- ΔTSréf = 4.86 (°C)

Résumer le résultat dans le tableau suivant :

Tableau14 : $A_{réf,PV}$

	∑	c	S_{int}	$\Delta TS_{réf\ PV}$	Total	Orientation
A réf PV	1	1,2	20,967	4,86	122,279	N
	1	1,2	20,799	6,09	151,999	E
	1	1,2	20,967	8,917	224,355	S
	1	1,2	4,056	6,09	29,641	E
	1	1,2	22,787	4	109,377	intérieur
	1	1,2	2,068	4	9,9264	porte
					Total	647,579

Donc : $A_{réfPV} = 647,579$

IV.1.8.4 Apports de référence des parois vitrées

$$Aréf, PVI = AVEréf + AVTréf$$

➢ Les apports de référence dus à l'ensoleillement à travers une paroi vitrée $AVE_{réf}$ sont donnes par :

$$AVEréf = [SV_{ens} \cdot I_t + (SV - SV_{ens}.) \cdot I_d]\ FS_{réf} \cdot N_{PVI,réf} \ldots\ldots\ldots (\text{IV-21})$$

Avec :

- SV = 1,2 . 1,6 (m)
- SV_{ens} = 0 (Nord), SV_{ens} = 1,56864 (Oest) (m^2).
- I_t (regarder le tableau de résultat) en (W/m²).
- I_d (regarder le tableau de résultat) en (W/m).
- $FS_{réf}$ = 0,38.
- $N_{PVI,réf}$ (regarder le tableau de résultat).

Les apports de référence dus au gradient de température à travers une paroi vitrée $AVT_{réf}$ sont donnés par :

$$AVT_{réf} = e' \cdot S_{ouv} \cdot \Delta TSréf, PVI \ldots\ldots\ldots\ldots (\text{IV-22})$$

Avec :

- e' = 4,4 (en W/m².°C).
- S_{ouv} = 1.2*1.6 (m^2).
- $DTS_{réf,PVI}$ =10 (°C).

Résumer le résultat dans le tableau suivant :

Tableau15 : $A_{réf,PVI}$

A réf PVI	AVE réf	∑	SV ens	I t	SV	I d	FS réf	N pvi réf	Résultat	Or
		2	0	51,58	1,68	50,386	0,38	0,98	63,046	N
		2	0,451	51,58	1,68	232,634	0,38	0,65	152,694	S
		2	1,836	51,58	0,96	553,177	0,38	0,21	-62,23	E
	AVT réf	∑	e'	S ou	Δ TS réf PVI					
		2	5,4	0,96	10				103,68	
		4	5,4	1,68	10				362,88	
								Total	620,062	

Donc : $A_{réfPVI}$= 620,062 w

Alors : $A_{réf}$ = 1701,637 +647,579 + 620,062

Donc : $A_{réf}$ = 2969,278 w

Résultat du calcul Aréf **:**

Tableau 16 : $A_{réf}$ de S.R $2^{ém}$ étage

Repére	$A_{réf,PH}$	$A_{réf,PV}$	$A_{réf,\ PVI}$	Total
S.R	1701,637	647,579	620,062	2969,278

On va vérifier la relation suivant :

$$APO\ (15\ h) + AV\ (15\ h) \leq 1{,}05.A_{réf}\ (15\ h)$$

$$2957{,}870 \leq 3117{,}419$$

Remarque : pour déterminer résulta de APO (15 h) on calcule les apports de la paroi aériennes seulement. Résultat du calcul de la vérification :

Tableau 17 : résultat de vérification de $2^{éme}$ étage S.R

Repère	$\sum APO$+AV	1,05x$A_{réf}$
S.R	1681,548	2104,3638

IV.1.8.5 K_{me} (K du mur double cloison simple constitué une couche végétale)

Tableau18 : La résistance thermique du mur double cloison avec couche végétale

	désignation	e (m)	λ(w/m.°c)	R=e/λ (m2.°c/w)
1	vigne vierge	0,2	0,274	0,729
2	Enduit ciment	0.015	1,4	0,01
3	Brique creuse	0,1	0,58	0,172
4	Lame d'air	/	/	0,16
5	Brique creuse	0,1	0,58	0,172
6	Enduit ciment	0.015	1,4	0,01
7	Enduit plâtre	0,005	0,35	0,0142
				∑ R=1,269

Kme =1/ (0.14+1,269)= 0,709 W/m2.°C

Tableau 19 : APO (t) nouveau

APO(t) exté	En Soleiller	Coef Mj	K_mé	S	Δtes(t)	C_Δte	α	Δtem(t)	I_d,b	I_d,40	Δte(t)	Résultat	
	Mure 01	1,2	0,709	20,967	4,4	0,85	0,5	13,9	217	217	10,527	187,802	S
	Mure 02	1,2	0,709	20,799	4,4	0,85	0,5	7,2	516	516	6,805	120,429	E
	grand Porte	1,2	3	4,056	4,4	0,28	0,5	10,6	516	516	8,124	118,629	
	A L'ombre	Coef Mj	K_mé	S	Δtes(t)	C_Δte					Δte(t)	Résultat	
	Mure 03	1,2	0,709	20,967	4,4	0,85					5,25	93,653	N
APO(t)inte	Non condition	K_mi	S_int	TS_e(t)	C_inct	TS_b,i					ΔTInc	Résultat	
	Mure 04	2,32	22,787	40	6	25					9	475,792	O
	grand Porte	3	2,068	40	6	25					9	55,836	
Apo(t)Toi	En Soleiller	Coef Mj	K_mé	S	Δtes(t)	C_Δte	α	Δtem(t)	I_d,b	I_d,40	Δte(t)	Résultat	
	Toit	1,2	0,43	69,562	17,2	0,85	0,5	3,3	734	734	10,327	370,707	
											Totale	1422,851	

Tableau 20 : le nouveau résultat des sommes les apports calorifique

APO	AV	AI	Aref PH	Aref PV	Aref PVI	AINFS s	AREN s	AINFS i	AREN i	Total
1422,851	1110,647	775,164	1701,637	647,579	620,062	1636,558	1036,8	271,736	172,152	9359,189

Conclusion :

Après avoir calculé les apports calorifique de la salle de réunion, le résultat était comme suite AC es (apport calorifique ancien) égale 9819,560 w . nous avons changé K(mur simple double cloison) avec Kmev (mur double cloison constitué une couche végétale) et recalculé les apport a travers les paroi opaque APOv = 1422,851 W , donc AC n = 9359,189 W c'est a dire diminué jusqu'a 460,371 W. Nous conclusions que les couches végétales ont un effet direct en réduisant le bilan thermique.

IV.2 Partie 02 : Effets thermique d'un corps humain (femme et homme)

$$A_d = 0.2025 P^{0.425} T^{0.725} \text{ ……..(IV-23)}$$

Le tableau donne la taille et le poids idéaux en termes d'âge pour les hommes et femmes :*

Tableau 21 : Gain de poids et taille avec l'âge

	Femme			Homme		
Age (ans)	poids(Kg)	Taille(m)	Ad(m²)	Poids(Kg)	Taille(m)	Ad(m²)
2	12	0,85	0,517	12,4	0,866	0,531
3	14,5	0,939	0,602	14	0,952	0,599
4	15,4	1,003	0,648	16,3	1,023	0,674
5	17,9	1,079	0,729	18,3	1,092	0,742
6	19,9	1,155	0,801	20,6	1,155	0,813
7	22,4	1,211	0,872	22,9	1,219	0,884
8	25,8	1,282	0,965	25,6	1,28	0,96
9	28,1	1,333	1,029	28,5	1,333	1,035
10	31,9	1,384	1,116	31,9	1,384	1,116
11	36,9	1,44	1,222	35,6	1,435	1,2
12	41,5	1,498	1,322	39,9	1,49	1,295
13	45,8	1,567	1,424	45,3	1,562	1,414
14	47,6	1,587	1,461	50,8	1,638	1,537
15	52,1	1,597	1,525	56	1,701	1,646
16	53,5	1,625	1,562	60,7	1,734	1,728
17	54,4	1,625	1,573	64,4	1,752	1,785
18	56,6	1,63	1,604	66,9	1,757	1,818
19	57,1	1,63	1,61	68	1,765	1,837
20	58	1,63	1,62	70	1,77	1,863

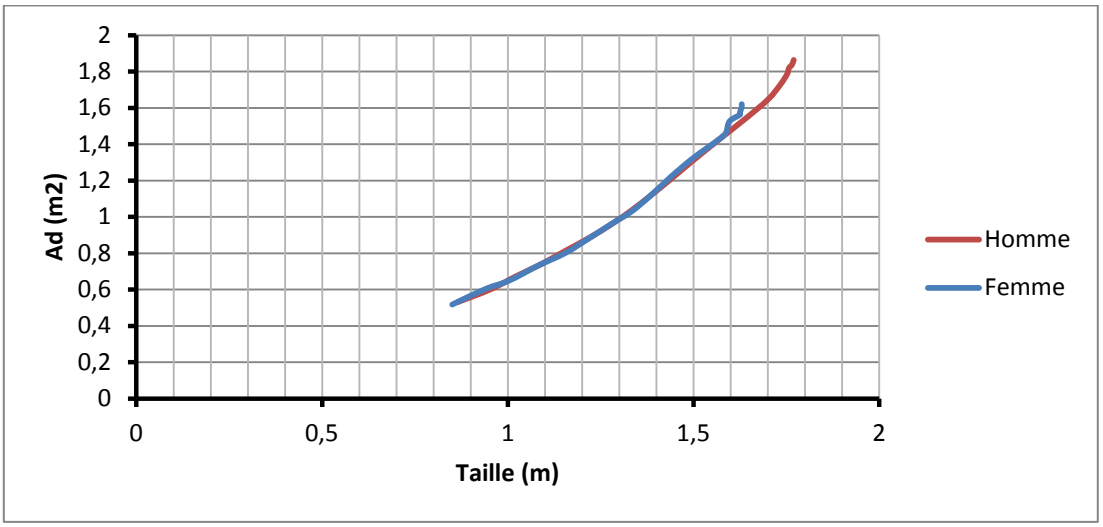


Figure1 : La surface cutanée en fonction la taille

Dans la figure 1 nous observons que la surface cutané pour les hommes et les femmes presque égale jus ‘qua la taille 1,6 m, puis a partir d’aille 1,7 m et plus nous remarquons la supériorité la surface cutané des hommes au détriment des femmes.

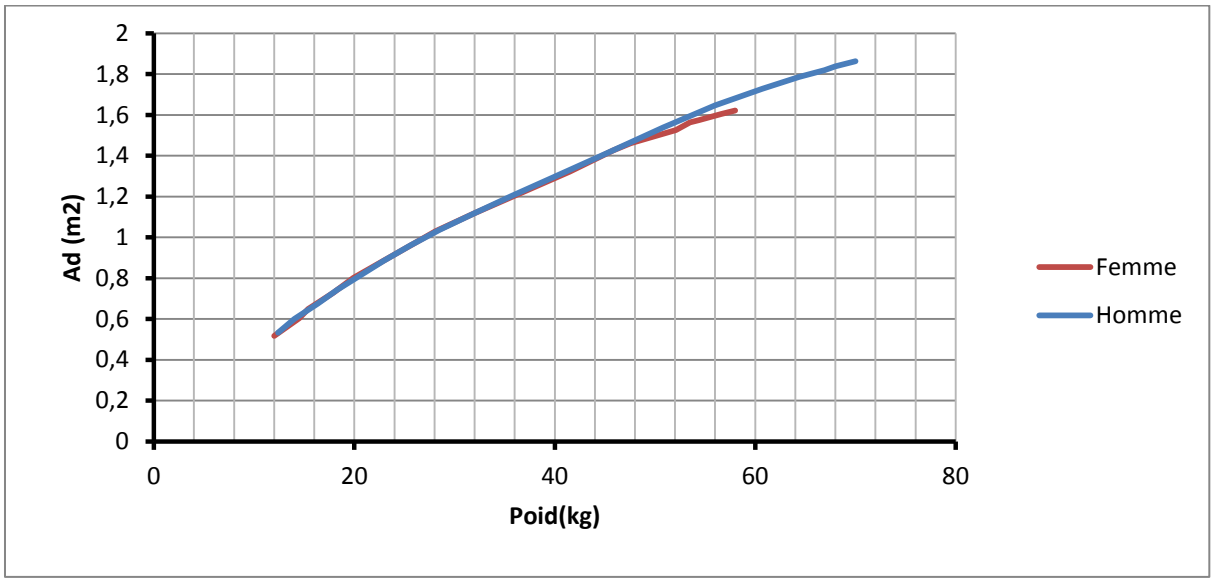


Figure 2: La surface cutanée en fonction le poids

Pour le poids, la surface cutanée est égale entre les hommes et les femmes jusqu’a la valeur de 58 kg, puis noter la progression des hommes.

IV.2.1 Effet dus a la convection :

$$C = h_c \left(T_a - \overline{T}_{sk} \right) A_c F_{cl} \text{ ..... (IV-24)}$$

Avec :

$$h_c = 3{,}5 + 5{,}2\ V_{ar} \quad \text{pour } V_a \leq 1\,\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$h_c = 8{,}7\ V_{ar}^{0{,}6} \quad \text{pour } V_a > 1\,\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Avec :

Définissons ici le coefficient hco d'échange convectif en air calme (Va = 0,05 m /s) qui vaut :

$$\text{hco} = 3{,}5 + (5{,}2 \times 0{,}05) \approx 3{,}8\ (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$$

$$\text{Var} = \text{Va} + 0{,}0052\ (\text{M} - 58)$$

Le tableau représente les d'échange thermique du corps humain par convection :

Tableau 22 : les valeurs d'effet du a la convection

				Homme		Femme	
hc($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	Tsk	Ta	Fcl	Ac=Ad(m^2)	C	Ac=Ad(m^2)	C
3,8	34	10	1	0,532	-48,509	0,517	-47,196
3,8	34	12	1	0,600	-50,147	0,603	-50,396
3,8	34	14	1	0,674	-51,236	0,649	-49,304
3,8	34	16	1	0,742	-50,785	0,729	-49,875
3,8	34	18	1	0,813	-49,442	0,801	-48,721
3,8	34	20	1	0,885	-47,056	0,872	-46,395
3,8	34	22	1	0,961	-43,815	0,965	-44,010
3,8	34	24	1	1,036	-39,357	1,030	-39,121
3,8	34	26	1	1,117	-33,942	1,117	-33,942
3,8	34	28	1	1,201	-27,381	1,222	-27,871
3,8	34	30	1	1,295	-19,690	1,322	-20,099
3,8	34	32	1	1,415	-10,752	1,425	-10,828
3,8	34	34	1	1,537	0,000	1,462	0,000
3,8	34	36	1	1,647	12,516	1,526	11,596
3,8	34	38	1	1,728	26,268	1,563	23,751
3,8	34	40	1	1,786	40,710	1,574	35,880
3,8	34	42	1	1,818	55,280	1,604	48,762
3,8	34	44	1	1,837	69,810	1,610	61,181
3,8	34	46	1	1,864	84,984	1,621	73,907

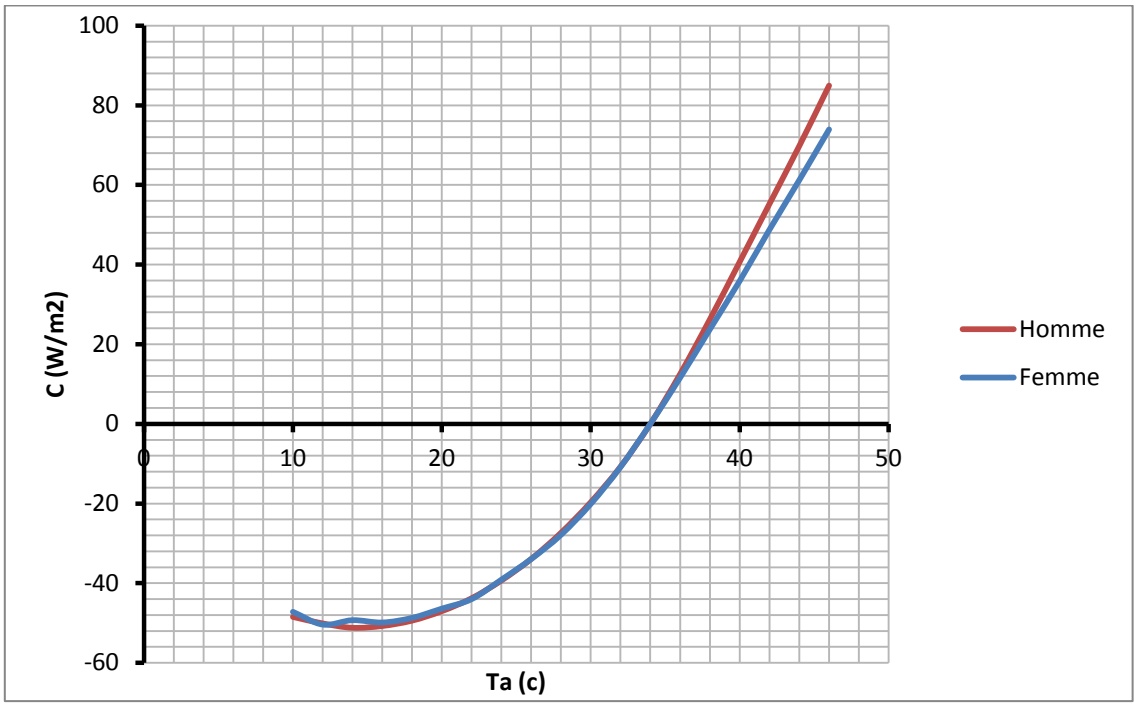


Figure 3:Effet dû à la convection en fonction la température de l'air

IV.2.2 Effet dus a la radiation

$$R = h_r \left(\overline{T}_r - \overline{T}_{sk} \right) A_r F_{cl} \quad \text{.....(IV-25)}$$

$$h_r = 22 \times 10^{-R} \left(\frac{\overline{T}_r + \overline{T}_{sk}}{2} \right)^3 \quad \text{.....(IV-26)} \qquad \overline{T}_r = T_g + 1.8\sqrt{V_a} \left(T_g - T_a \right) \text{..... (IV-27)}$$

Le tableau représente les d'échange thermique du corps humain par radiation :

Tableau 23 : les valeurs d'effet du a la radiation

							Femme		Homme	
Tg	Va	Ta	Tsk	hr	Tr	Fcl	Ar(m²)	R	Ar(m²)	R
-20	0,05	22	34	6	-25,292	1	0,362	-128,870	0,372	-132,457
-15	0,05	22	34	6	-19,662	1	0,422	-135,864	0,420	-135,194
-10	0,05	22	34	6	-14,032	1	0,454	-130,871	0,472	-136,002
-5	0,05	22	34	6	-8,402	1	0,510	-129,857	0,520	-132,225
0	0,05	22	34	6	-2,772	1	0,561	-123,759	0,569	-125,591
5	0,05	22	34	6	2,858	1	0,610	-114,066	0,619	-115,692
10	0,05	22	34	6	8,488	1	0,676	-103,413	0,673	-102,955
15	0,05	22	34	6	14,118	1	0,721	-85,968	0,725	-86,486
20	0,05	22	34	6	19,748	1	0,782	-66,832	0,782	-66,832
25	0,05	22	34	6	25,378	1	0,856	-44,267	0,841	-43,488
30	0,05	22	34	6	31,008	1	0,926	-16,617	0,907	-16,278
35	0,05	22	34	6	36,638	1	0,997	15,785	0,990	15,675
40	0,05	22	34	6	42,268	1	1,023	50,755	1,076	53,388
45	0,05	22	34	6	47,898	1	1,068	89,059	1,153	96,132
50	0,05	22	34	6	53,528	1	1,094	128,160	1,210	141,742
55	0,05	22	34	6	59,158	1	1,102	166,283	1,250	188,664
60	0,05	22	34	6	64,788	1	1,123	207,414	1,273	235,137
65	0,05	22	34	6	70,418	1	1,127	246,262	1,286	280,994

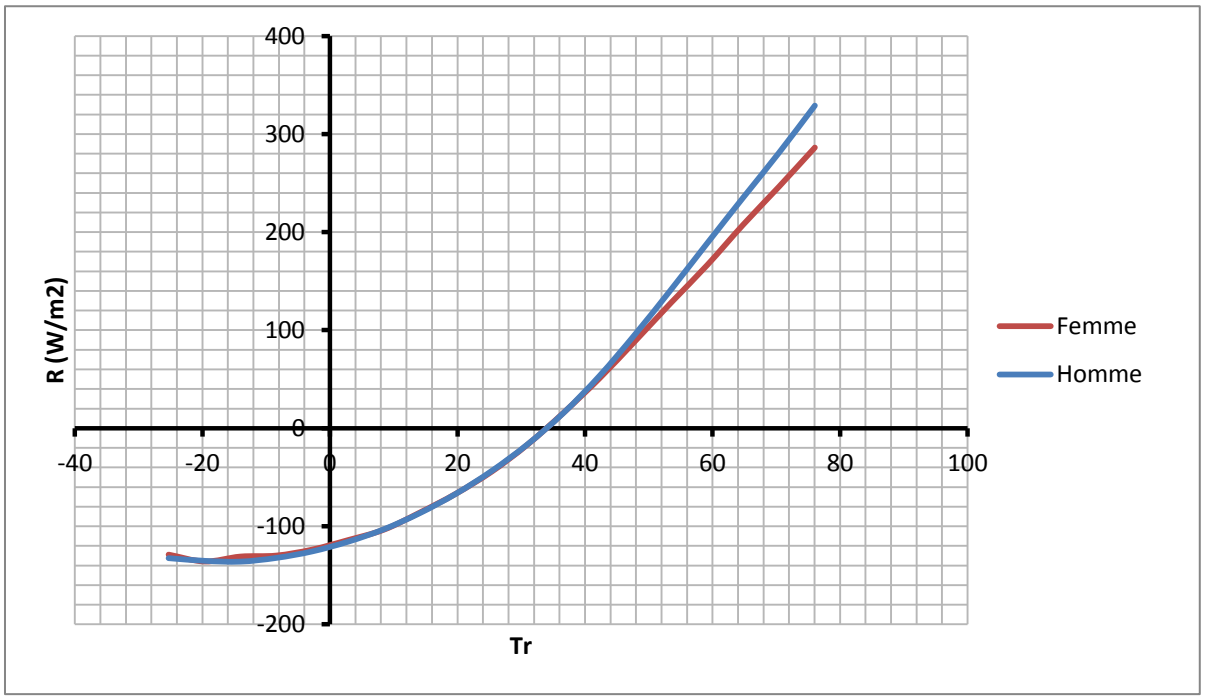


Figure4 : effet dus a la radiatif en fonction Tr

IV.2.3 Effet dus a l'humidité : HR 60%

$$E = h_e \left(p_{a_{H2O}} - P_{s_{H2O}} \right) A_e F_{pcl} \quad \text{..... (IV-28)}$$

Avec : $$h_e = k h_c$$

k = 2,2 (K · Torr^{-1}) ou encore 16,7 (K · kPa^{-1})

et Ad =(Ad /Ar)*Ar avec (Ad/Ar) = 0,7 pour le sujet assis

Le tableau représente les d'échange thermique du corps humain par l'humidité.

Tableau 24 : Tableau : les valeurs d'effet du a l'humidité

						Homme			Femme		
Ta	hc	k	he	Psk H2O	Fpcl	Ae(m²)	Pa H2O	E	Ae(m²)	Pa H2O	E
10	3,8	16,7	63,46	3,166	1	0,160	0,735	-24,617	0,155	0,735	-23,950
12	3,8	16,7	63,46	3,166	1	0,180	0,839	-26,574	0,181	0,839	-26,706
14	3,8	16,7	63,46	3,166	1	0,202	0,955	-28,378	0,195	0,955	-27,307
16	3,8	16,7	63,46	3,166	1	0,223	1,086	-29,401	0,219	1,086	-28,874
18	3,8	16,7	63,46	3,166	1	0,244	1,232	-29,941	0,240	1,232	-29,504
20	3,8	16,7	63,46	3,166	1	0,265	1,396	-29,806	0,262	1,396	-29,387
22	3,8	16,7	63,46	3,166	1	0,288	1,577	-29,067	0,290	1,577	-29,196
24	3,8	16,7	63,46	3,166	1	0,311	1,779	-27,349	0,309	1,779	-27,185
26	3,8	16,7	63,46	3,166	1	0,335	2,004	-24,699	0,335	2,004	-24,699
28	3,8	16,7	63,46	3,166	1	0,360	2,252	-20,897	0,367	2,252	-21,271
30	3,8	16,7	63,46	3,166	1	0,389	2,527	-15,759	0,397	2,527	-16,087
32	3,8	16,7	63,46	3,166	1	0,424	2,831	-9,023	0,427	2,831	-9,086
34	3,8	16,7	63,46	3,166	1	0,461	3,166	0,000	0,438	3,166	0,000
36	3,8	16,7	63,46	3,166	1	0,494	3,535	11,569	0,458	3,535	10,718
38	3,8	16,7	63,46	3,166	1	0,518	3,940	25,466	0,469	3,940	23,025
40	3,8	16,7	63,46	3,166	1	0,536	4,385	41,437	0,472	4,385	36,521
42	3,8	16,7	63,46	3,166	1	0,546	4,873	59,094	0,481	4,873	52,127
44	3,8	16,7	63,46	3,166	1	0,551	5,408	78,413	0,483	5,408	68,721
46	3,8	16,7	63,46	3,166	1	0,559	5,992	100,269	0,486	5,992	87,199

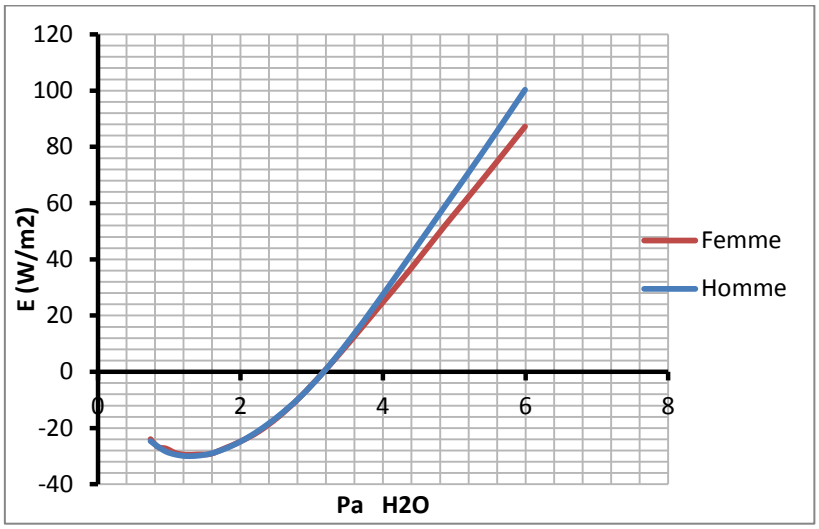


Figure 5: effet dus la humidité en fonction pression de vapeur d'eau

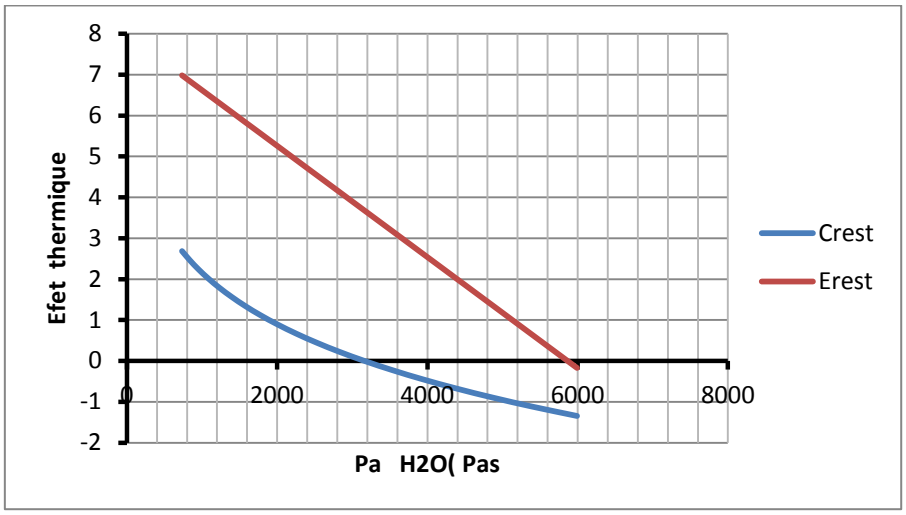
IV.2.4 Effet dus a convection respiratoire et évaporation respiratoire

$$C_{res} = 0{,}0014\ M\ (34 - t_a)\ \text{.....(IV-29)}$$

$$E_{res} = 0{,}000017\ M\ (5867 - Pa)\ \text{..... (IV-30)}$$

Tableau25 : les valeurs des Cres et E res

Ta	M	Pa H2O	Crest	Erest
10	80	735	2,688	6,98
12	80	839	2,464	6,838
14	80	955	2,24	6,68
16	80	1086	2,016	6,502
18	80	1232	1,792	6,304
20	80	1396	1,568	6,081
22	80	1577	1,344	5,834
24	80	1779	1,12	5,56
26	80	2004	0,896	5,254
28	80	2252	0,672	4,916
30	80	2527	0,448	4,542
32	80	2831	0,224	4,129
34	80	3166	0	3,673
36	80	3535	-0,224	3,172
38	80	3940	-0,448	2,621
40	80	4385	-0,672	2,016
42	80	4873	-0,896	1,352
44	80	5408	-1,12	0,624
46	80	5992	-1,344	-0,17



IV.2.5 Bilan globale

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

Un bilan B nul correspond à l'équilibre thermique de l'organisme humain impliquant une stabilité des températures corporelles.

Tableau 26 : Les valeurs de bilan globale

			femme				Homme			
M	Crest	Erest	C	R	E	B	C	R	E	B
80	2,688	6,98	-47,196	-128,87	-23,95	-76,408	-48,509	-129,079	-24,617	-77,263
80	2,464	6,838	-50,396	-135,864	-26,706	-83,928	-50,147	-132,02	-26,574	-79,967
80	2,24	6,68	-49,304	-130,871	-27,307	-77,308	-51,236	-133,148	-28,378	-80,446
80	2,016	6,502	-49,875	-129,857	-28,874	-75,344	-50,785	-129,868	-29,401	-75,738
80	1,792	6,304	-48,721	-123,759	-29,504	-67,488	-49,442	-123,869	-29,941	-67,882
80	1,568	6,081	-46,395	-114,066	-29,387	-55,587	-47,056	-114,756	-29,806	-56,519
80	1,344	5,834	-44,01	-103,413	-29,196	-42,717	-43,815	-102,955	-29,067	-42,193
80	1,12	5,56	-39,121	-85,968	-27,185	-22,344	-39,357	-87,582	-27,349	-24,03
80	0,896	5,254	-33,942	-66,832	-24,699	-0,433	-33,942	-69,195	-24,699	-2,796
80	0,672	4,916	-27,871	-44,267	-21,271	24,889	-27,381	-47,301	-20,897	21,971
80	0,448	4,542	-20,099	-16,617	-16,087	55,277	-19,69	-21,762	-15,759	50,213
80	0,224	4,129	-10,828	15,785	-9,086	90,138	-10,752	8,188	-9,023	82,554
80	0	3,673	0	50,755	0	127,082	0	43,625	0	119,952
80	-0,224	3,172	11,596	89,059	10,718	166,541	12,516	83,93	11,569	161,481
80	-0,448	2,621	23,751	128,16	23,025	205,817	26,268	127,109	25,466	204,842
80	-0,672	2,016	35,88	166,283	36,521	242,954	40,71	171,656	41,437	248,241
80	-0,896	1,352	48,762	207,414	52,127	281,801	55,28	215,891	59,094	289,829
80	-1,12	0,624	61,181	246,262	68,721	316,978	69,81	259,606	78,413	329,259
80	-1,344	-0,17	73,907	286,228	87,199	351,762	84,984	305,459	100,269	369

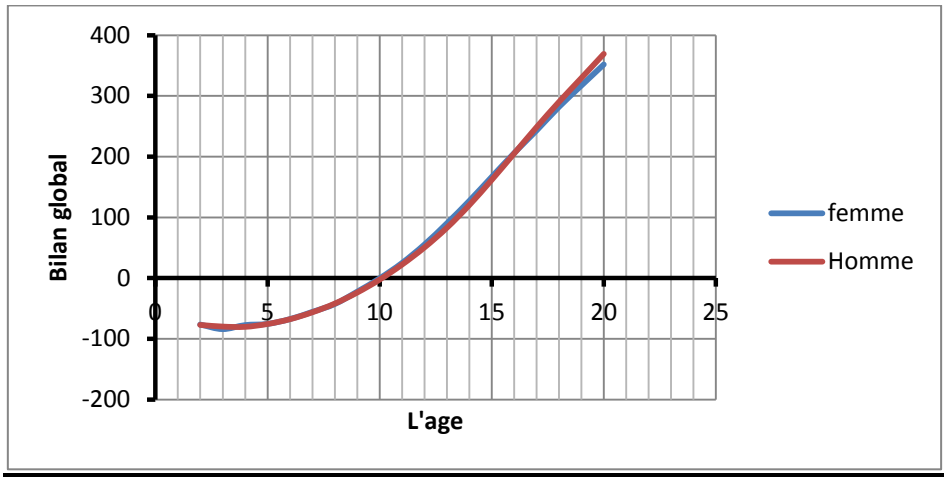


Figure 6 : bilan globale en fonction l'âge

Exemple : L'âge a 20 ans.

Femme :

Tableau 27 : les valeurs des change thermique a l'âge 20 an pour femme

age	M	Crest	Erest	C	R	E	B
20	80	-1,344	-0,17	73,907	286,228	87,199	351,762

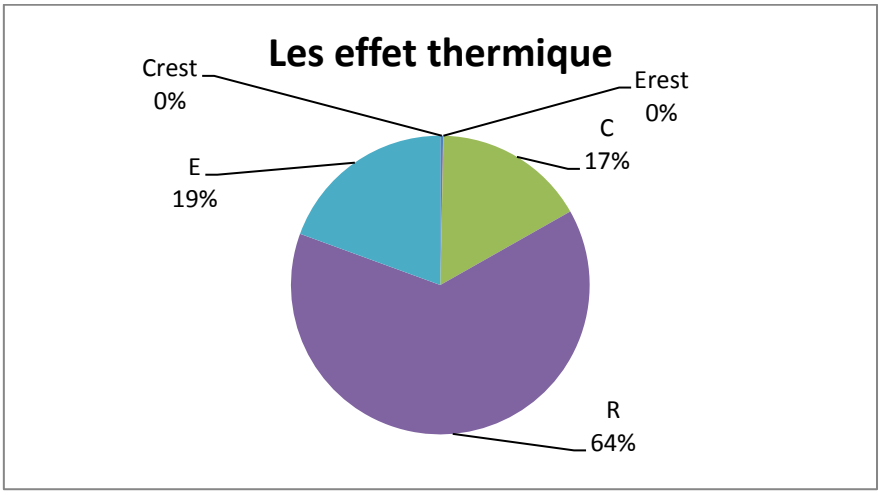


Figure 7: Pourcentage des changes thermique pour femme a l'âge 20 ans

Homme :

Tableau 28 : les valeurs des change thermique a l'âge 20 an pour l'homme

age	M	Crest	Erest	C	R	E	B
20	80	-1,344	-0,17	84,984	305,459	100,269	290,174

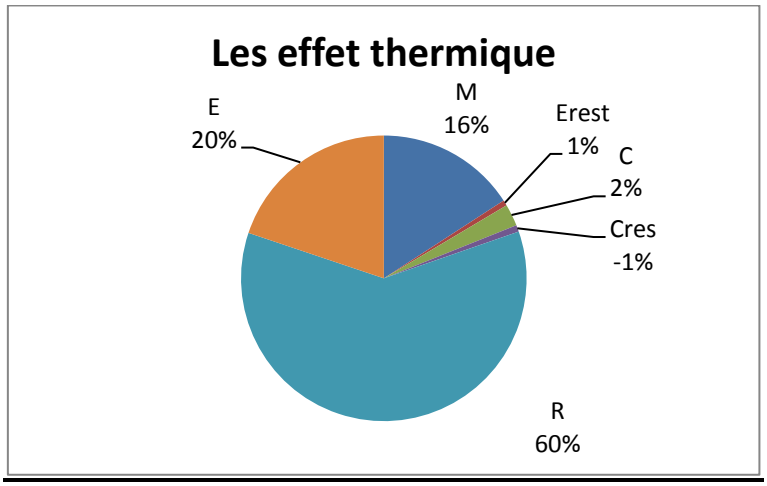


Figure 8: Pourcentage des changes thermique pour l'homme a l'âge 20 ans

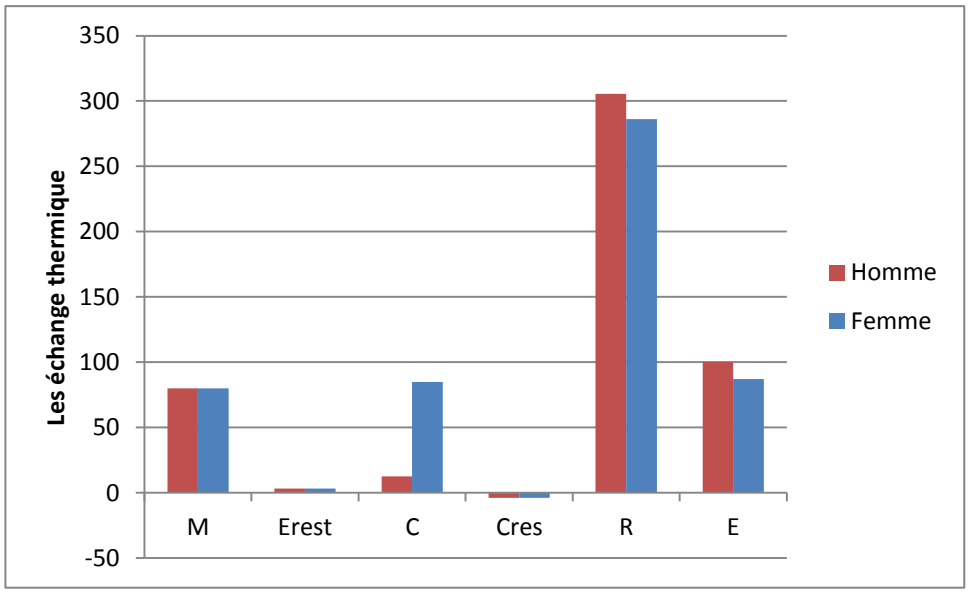


Figure 9: Les échanges thermiques

IV.3 Partie 03 : Application de modèle FAGER (le cas d'un étudient a la bibliothèque en été)

Pour applique modèle de FANGER et faciliter les calculs on utilise le programme l'Excel pour programmant les équations (II-14),(II-15),(II-16),(II-17),(II-18).

IV.3.1 Les paramètre :

- Métabolisme, M=69,78 W/m2 avec (1 met = 58,15W/m2)

Activité	W/m²	met
Activité légère, assis (bureau, école)	69,8	1,2

- Résistance thermique de la vêture Icl= 0,5 clo avec (1 clo = 0,155m2K/W)

Tenue vestimentaire	Habillement
Tenue d'été légère (pantalon léger, chemise à col ouvert et à manches courtes, chaussettes légères et chaussures).	0,5

- Température de l'air ambiant $T_a = 30$ (°C).
- Température moyenne radiante: $T_r = 20$(C°).
- Vitesse de l'air $V_a = 0{,}2$ m /s.
- Humidité relative RH=60% .

Modèle pour le calcul les indices de confort thermique PMV et PPD (la méthode du fanger :ISO 7730)

Les données d'entrée		Calcules intermédiaires					Les données sortes		
M(met) =	1,2	T skin =	33,746	C°			Convection =	22,241	w/m²
W(met) =	0						Radiation =	64,6	w/m²
I cl (clo) =	0,5	hc conv naturel =	4,061				Evaporatoire =	3,348	w/m²
Ta (c°) =	30			hc max =	5,411	W/m²c°	Convectifes res =	0,391	w/m²
Tr (c°) =	20	hc conv forcé =	5,411				Echange res =	3,940	w/m²
HR%=	60								
Va (m/) =	0,2			T cl =	33,736	C°	Bilan globale =	94,491	w/m²
							[(M-W)-B]=	-24,711	w/m²
M (w/m²) =	69,78	F cl (Icl<=0,5) =	1,1						
W (w/m²) =	0			F cl min =	1,1	m²c°/w	PMV=	-0,424	
I cl (m²c°/w) =	0,0775	F cl (Icl>0,5) =	1,1				PPD=	8,744	
Psat (pascal)=	2546,03								

Tableau 29 : les échanges thermiques, bilan globale et équilibre [(M-W)-B]

	w/m²	Pourcentage
Equilibre [(M-W)-B]	-24,711	
Bilan globale	94,491	
Convection	22,241	24%
Radiation	64,6	68%
Evaporatoire	3,348	4%
Echange res	3,940	4%
Convectifs res	0,391	0%

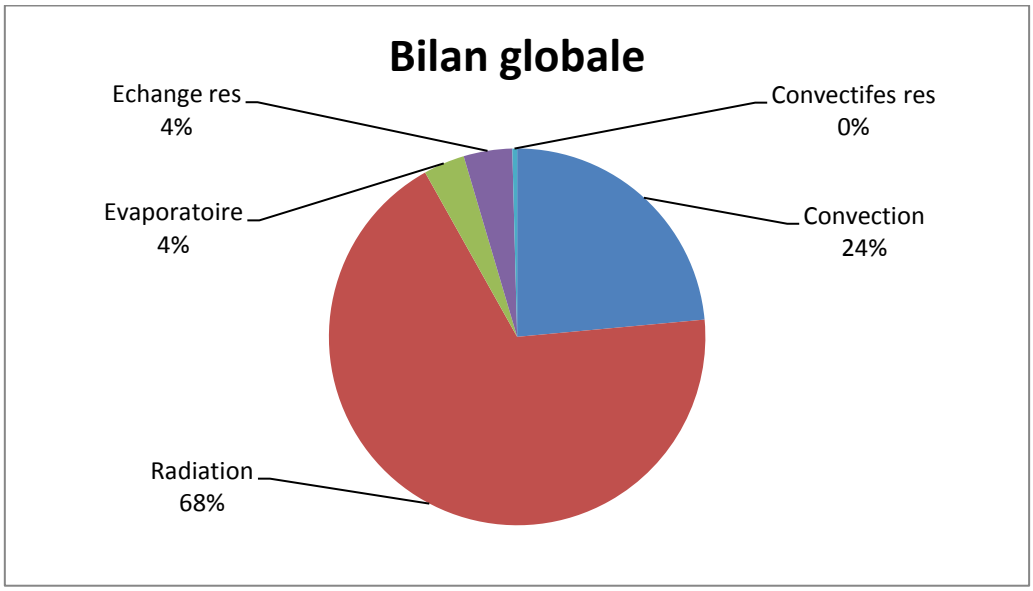


Figure 10: pourcentage des échanges thermique

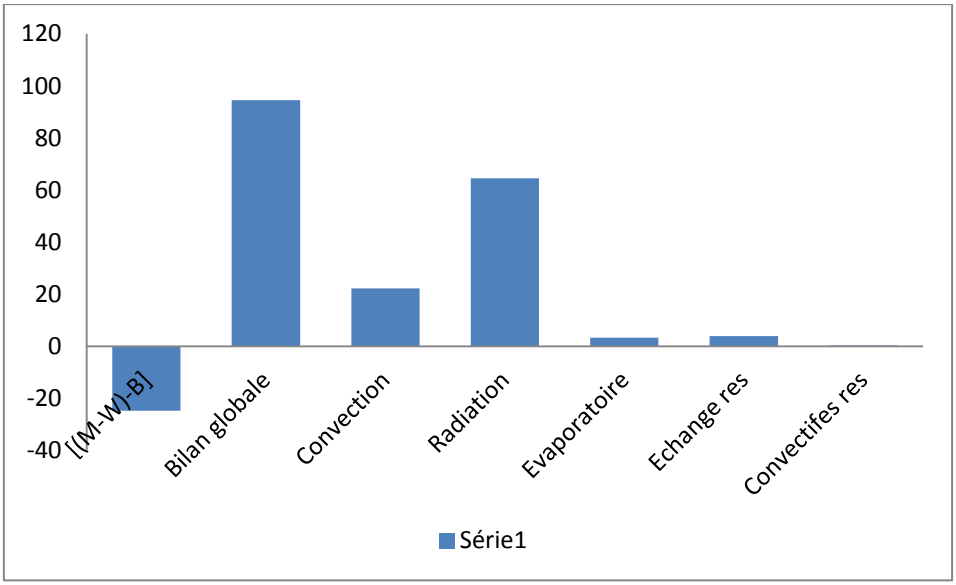


Figure 11 : Les charges thermiques

Le figure 12 qui représente la position de point (PMV=-0, 424, PPD=8,744) :

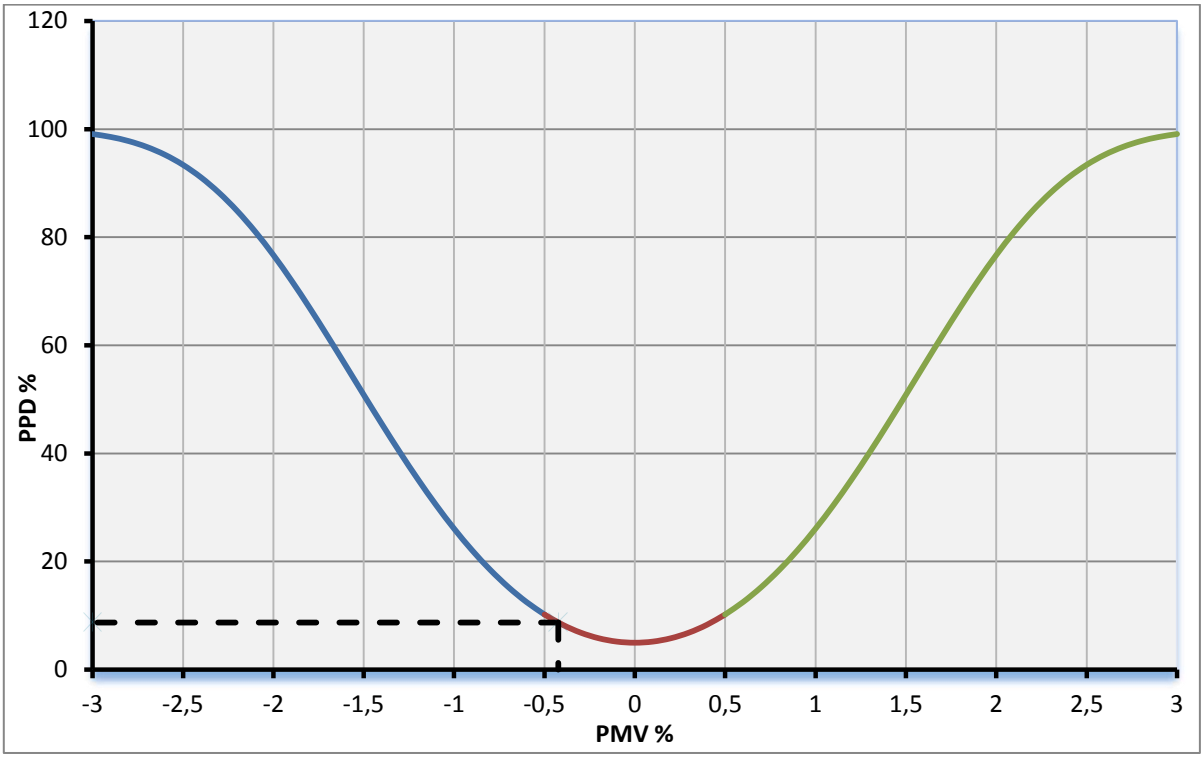


Figure 12: PPD en fonction PMV

IV.4 Partie 04 : Analyse du questionnaire de confort thermique

En thermique du bâtiment, Il y a deux méthodes sont souvent utilisées pour apprécier le confort thermique. la méthode statistique et la méthode déterministe basée sur le calcul de la charge thermique du corps humain. Dans cette partie en utilise la méthode statistique.

Après avoir analysé le questionnaire en utilisant le logiciel SPPS, les données suivantes illustrent et résument le processus d'analyse.

Le tableau 30 représente les différents âges des étudiants participant au questionnaire :

Tableau 30 : ages des étudiants

Age	Fréquence	Pourcentage
18	3	2,7
19	11	10,0
20	17	15,5
21	20	18,2
22	21	19,1
23	20	18,2
24	8	7,3
25	4	3,6
26	3	2,7
28	1	0,9
33	1	0,9
34	1	0,9
Total	110	100,0

La figure 13 représente l'âge plus élevé participant (22ans).

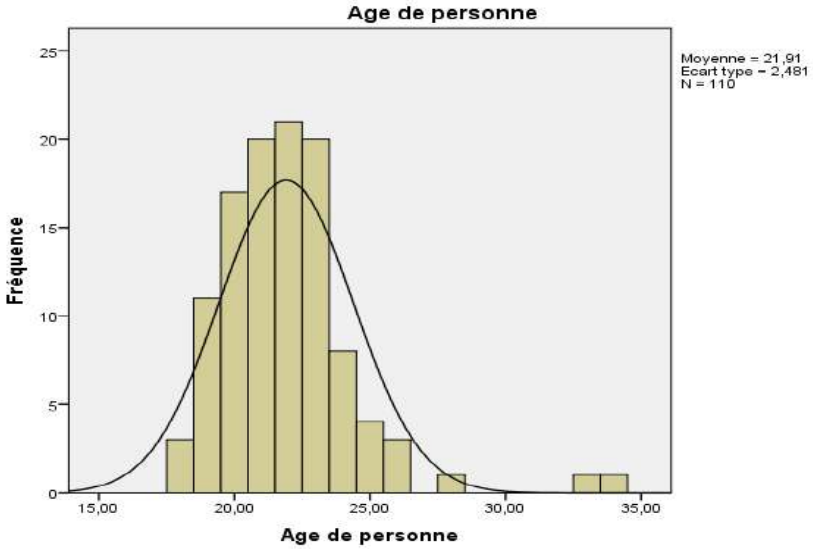


Figure 13 : l'âge de personne

Le tableau 30 donne les poids des étudient avec leurs fréquence :

Tableau 31 : Poids des étudiants participant

Poids (kg)	Fréquence	Pourcentage	Poids (kg)	Fréquence	Pourcentage
42	3	2,7	67	1	0,9
45	2	1,8	68	2	1,8
46	1	0,9	69	2	1,8
50	14	12,7	70	4	3,6
51	3	2,7	71	1	0,9
52	3	2,7	72	2	1,8
53	2	1,8	73	2	1,8
55	7	6,4	74	2	1,8
56	3	2,7	75	3	2,7
57	3	2,7	77	1	0,9
58	1	0,9	78	2	1,8
59	2	1,8	80	2	1,8
60	13	11,8	85	2	1,8
62	7	6,4	86	3	2,7
63	1	0,9	87	1	0,9
64	1	0,9	90	1	0,9
65	12	10,9	91	1	0,9
			Total	110	100,0

Le tableau 32 donne le nombre des étudient participant (55 femme et 55 l'homme) :

Tableau 32 : sexe de personne

Sexe	Fréquence	Pourcentage
M	55	50,0
F	55	50,0
Total	110	100,0

La plus petite taille est de 1,5 m et la grande taille est de 1,95 m comme indiqué dans le tableau 33 :

Tableau 33 : Tailles des étudiants participant

Taille	Fréquence	Pourcentage	Taille	Fréquence	Pourcentage
1,50	1	0,9	1,72	6	5,5
1,54	1	0,9	1,73	2	1,8
1,55	6	5,5	1,75	4	3,6
1,56	2	1,8	1,76	4	3,6
1,57	2	1,8	1,77	1	0,9
1,58	1	0,9	1,78	4	3,6
1,60	9	8,2	1,79	3	2,7
1,61	5	4,5	1,80	5	4,5
1,62	6	5,5	1,82	1	0,9
1,63	6	5,5	1,83	1	0,9
1,64	2	1,8	1,84	2	1,8
1,65	8	7,3	1,85	3	2,7
1,66	3	2,7	1,87	1	0,9
1,67	3	2,7	1,89	1	0,9
1,68	4	3,6	1,91	1	0,9
1,70	9	8,2	1,95	1	0,9
			1,71	2	1,8
			Total	110	100,0

IV.4.1 Question 1

Tableau 34 : les réponses à la 1^{ér} question

Comment qualifiez-vous votre niveau de sensibilité à la chaleur?		
	Fréquence	Pourcentage
extrêmement sensible	17	15,5
plutôt sensible	22	20,0
sensibilité normale	60	54,5
peu sensible	11	10,0
Total	110	100,0

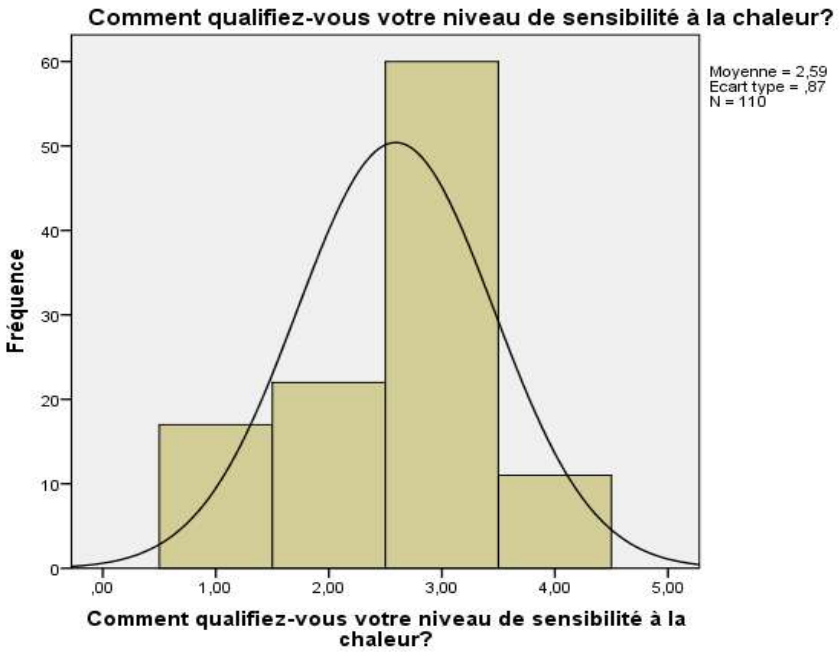


Figure 14 : La réponse la plus interactive (sensibilité normale)

IV.4.2 Question 2

Tableau 35 : les réponses à la 2éme question

Comment qualifiez-vous votre niveau de sensibilité au froid?		
	Fréquence	Pourcentage
extrêmement sensible	22	20,0
plutôt sensible	27	24,5
sensibilité normale	50	45,5
peu sensible	11	10,0
Total	110	100,0

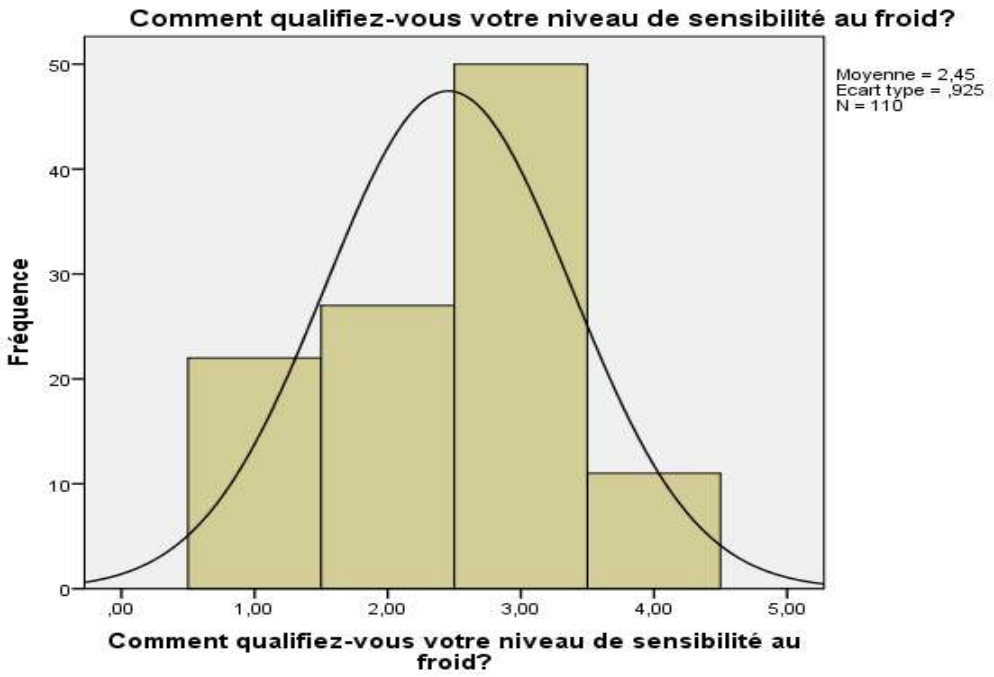


Figure 15 : La réponse la plus interactive (sensibilité normale)

IV.4.3 Question 3

Tableau 36 : les réponses à la 3éme question

Précisez quelle est pour vous l'importance d'avoir une température confortable dans votre espace de travail?		
	Fréquence	Pourcentage
vous concentrez mieux	24	21,8
vous travaillez mieux	46	41,8
votre humeur est meilleure	28	25,5
vous êtes moins fatigue	12	10,9
Total	110	100,0

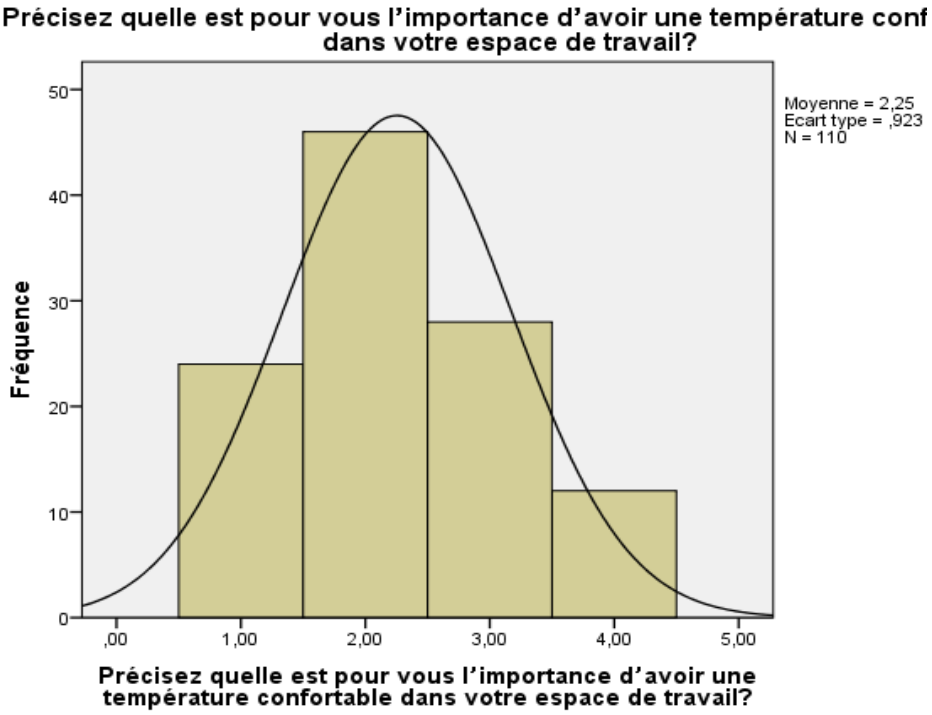


Figure 16 : La réponse la plus interactive (vous travaillez mieux)

IV.4.4 Question 4

Tableau 37 : les réponses à la 4éme question

Comment aimez-vous être la température de l'eau chaude ?		
	Fréquence	Pourcentage
fraiche	4	3,6
tiède	34	30,9
bonne	41	37,3
chaud	27	24,5
trop chaude	4	3,6
Total	110	100,0

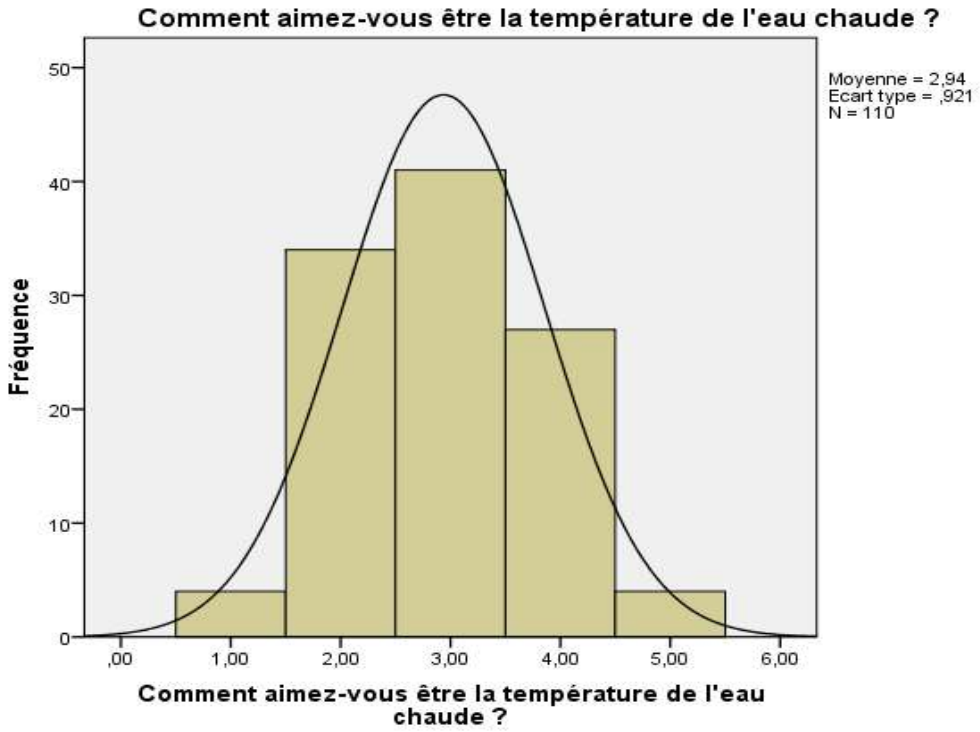


Figure 17 : La réponse la plus interactive (bonne)

IV.4.5 Question 5

Tableau 38 : les réponses à la 5éme question

Quel type de ventilation préférez-vous ?		
	Fréquence	Pourcentage
naturelle	98	89,1
mécanique	12	10,9
Total	110	100,0

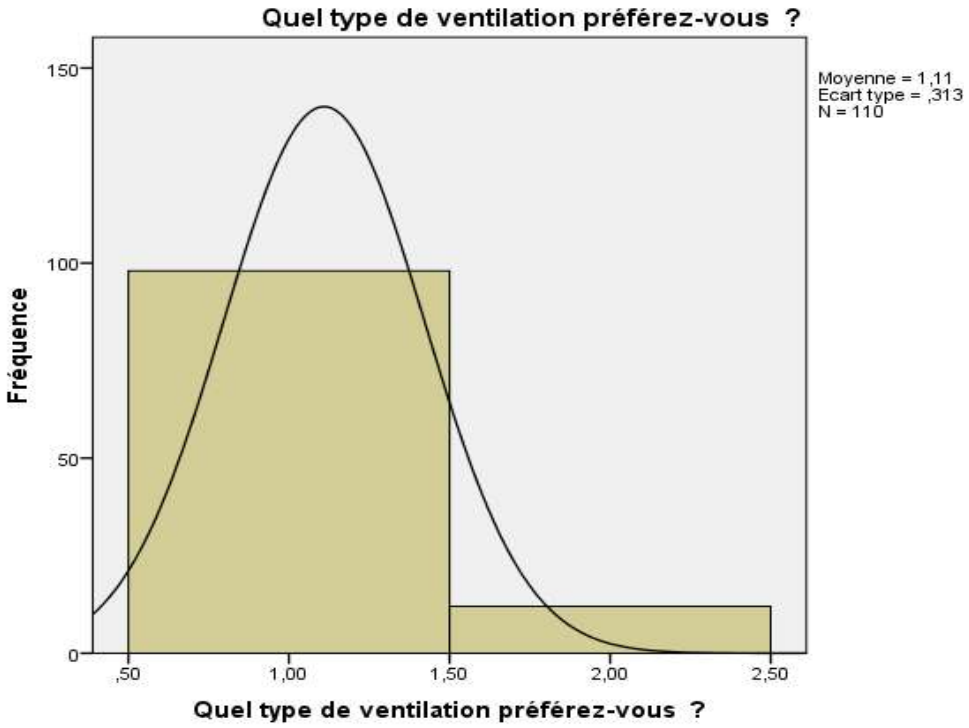


Figure 18 : La réponse la plus interactive (naturelle)

IV.4.6 Question 6

Tableau 39 : les réponses à la 6éme question

Comment vous sentez-vous maintenant		
	Fréquence	Pourcentage
froid	4	3,6
légèrement froid	2	1,8
ni chaud ni froid	30	27,3
légèrement chaud	34	30,9
chaud	40	36,4
Total	110	100,0

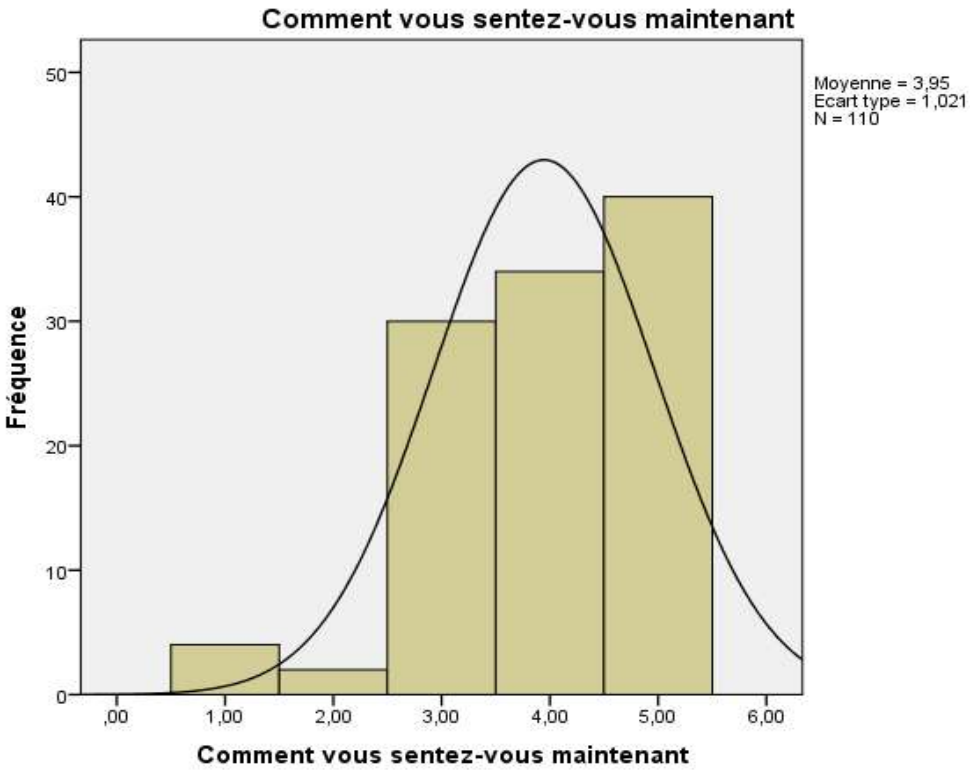


Figure 19 : La réponse la plus interactive (chaud)

IV.4.7 Question 7

Tableau 40 : les réponses à la 7éme question

Trouvez-vous cela…?		
	Fréquence	Pourcentage
très acceptable	15	13,6
acceptable	65	59,1
neutre	17	15,5
inacceptable	11	10,0
très inacceptable	2	1,8
Total	110	100,0

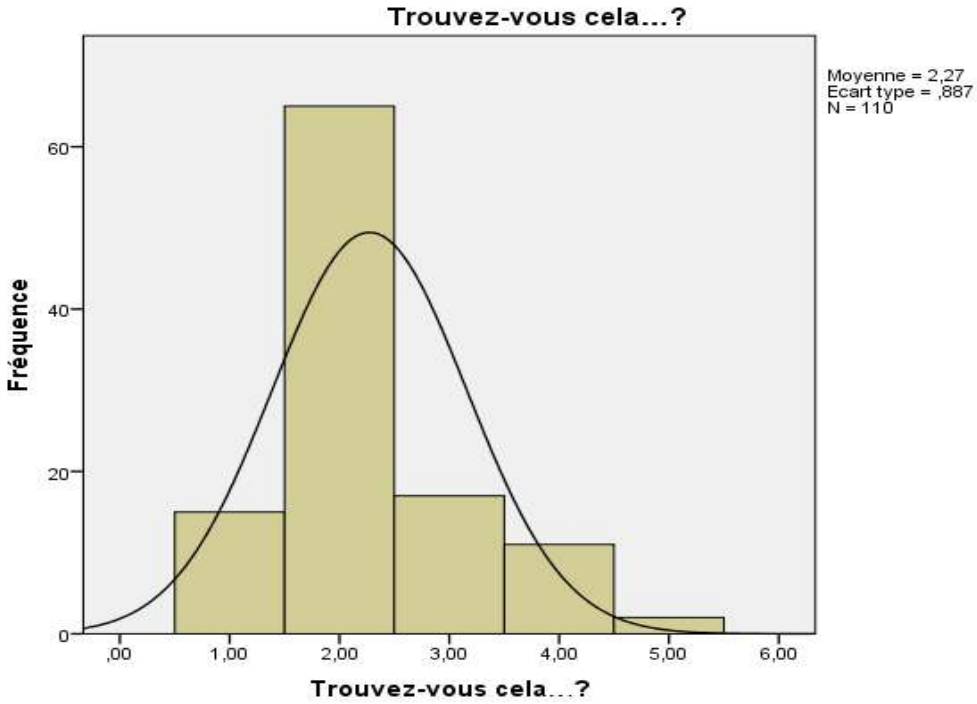


Figure 20 : La réponse la plus interactive (acceptable)

IV.4.8 Question 8

Tableau 41 : les réponses à la 8éme question

Quel est le niveau de température de la bibliothèque en été ?		
	Fréquence	Pourcentage
très chaud	30	27,3
chaud	48	43,6
légèrement chaud	6	5,5
ni chaud ni froid	10	9,1
légèrement froid	3	2,7
froid	11	10,0
très froid	2	1,8
Total	110	100,0

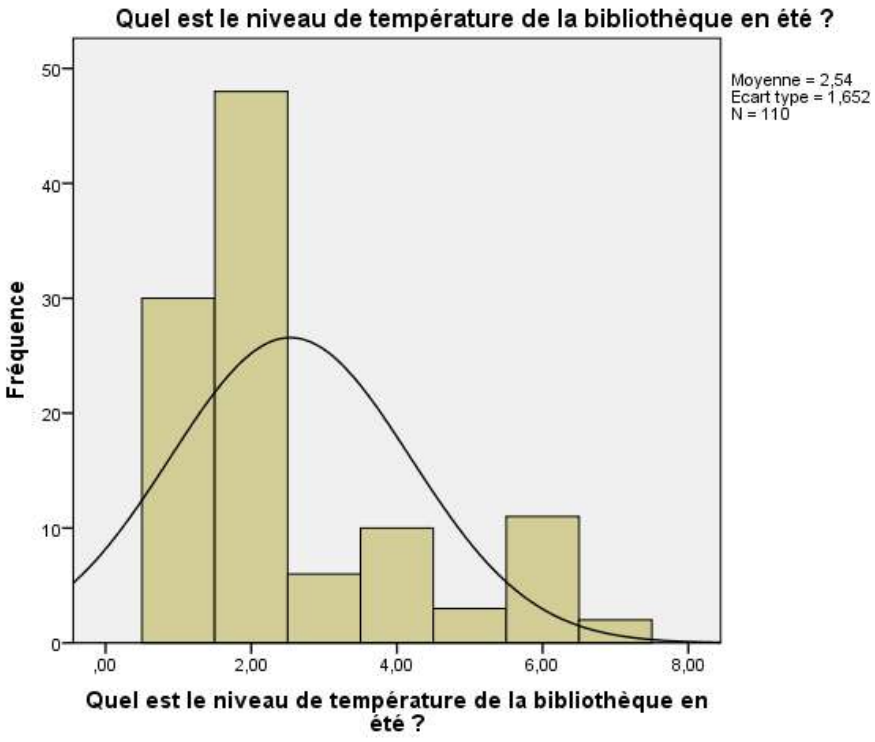


Figure 21 : La réponse la plus interactive (chaud)

IV.4.9 Question 9

Tableau 42 : les réponses à la 9éme question

A Partir de quelle température intérieure juger –vous nécessaire de climatiser la bibliothèque en été. (…… °C)		
Température	Fréquence	Pourcentage
15	2	1,8
16	18	16,4
17	6	5,5
18	24	21,8
19	5	4,5
20	23	20,9
21	1	,9
22	6	5,5
23	5	4,5
24	8	7,3
25	6	5,5
26	3	2,7
27	3	2,7
Total	110	100,0

IV.4.10 Question 10

Tableau 43 : les réponses à la 10^{éme} question

Quel est le niveau de température de la bibliothèque en hiver?		
	Fréquence	Pourcentage
très froid	2	1,8
froid	14	12,7
ni chaud ni froid	41	37,3
chaud	47	42,7
très chaud	6	5,5
Total	110	100,0

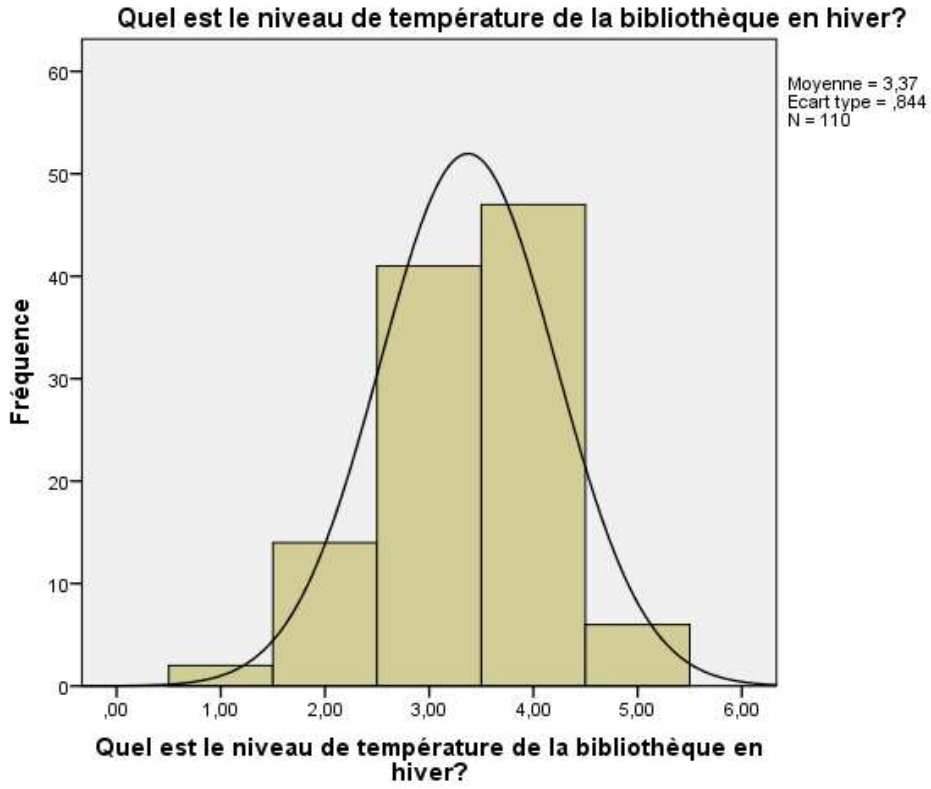


Figure 22 : La réponse la plus interactive (chaud)

IV.4.11 Question 11

Tableau 44 : les réponses à la 11éme question

En été, comment jugez-vous le confort thermique dan bibliothèque ?		
	Fréquence	Pourcentage
très acceptable	4	3,6
Acceptable	26	23,6
Neutre	47	42,7
inacceptable	24	21,8
très inacceptable	9	8,2
Total	110	100,0

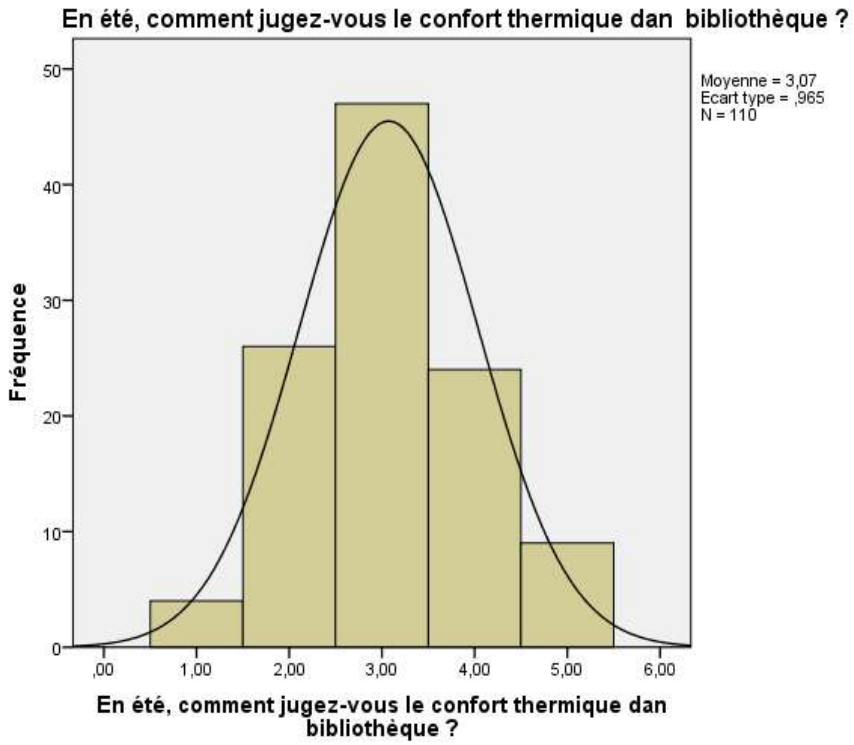


Figure 23 : La réponse la plus interactive (neutre)

IV.4.12 Question 12

Tableau 45 : les réponses à la 12éme question

En hiver, comment jugez-vous le confort thermique dans bibliothèque?		
	Fréquence	Pourcentage
très acceptable	9	8,2
acceptable	40	36,4
Neutre	46	41,8
inacceptable	13	11,8
très inacceptable	2	1,8
Total	110	100,0

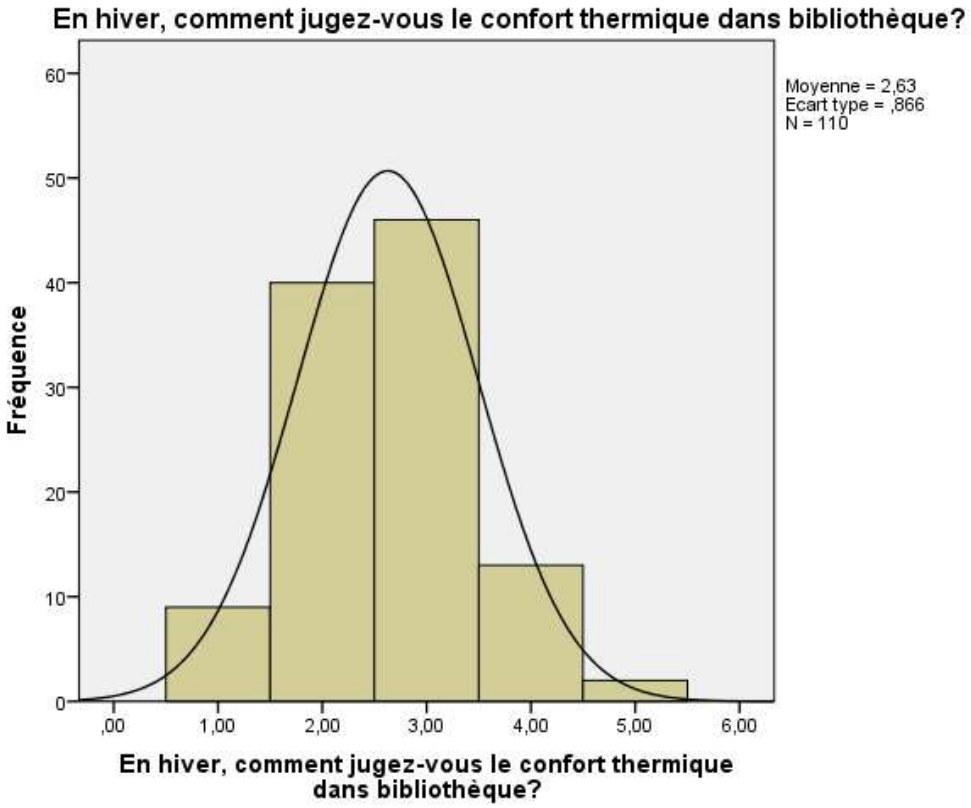


Figure 24 : La réponse la plus interactive (neutre)

IV.4.13 Question 13

Tableau 46 : les réponses à la 13éme question

La ventilation de bibliothèque vous semble?		
	Fréquence	Pourcentage
insuffisante	14	12,7
adaptée	24	21,8
Trop importante	71	64,5
Total	110	100,0

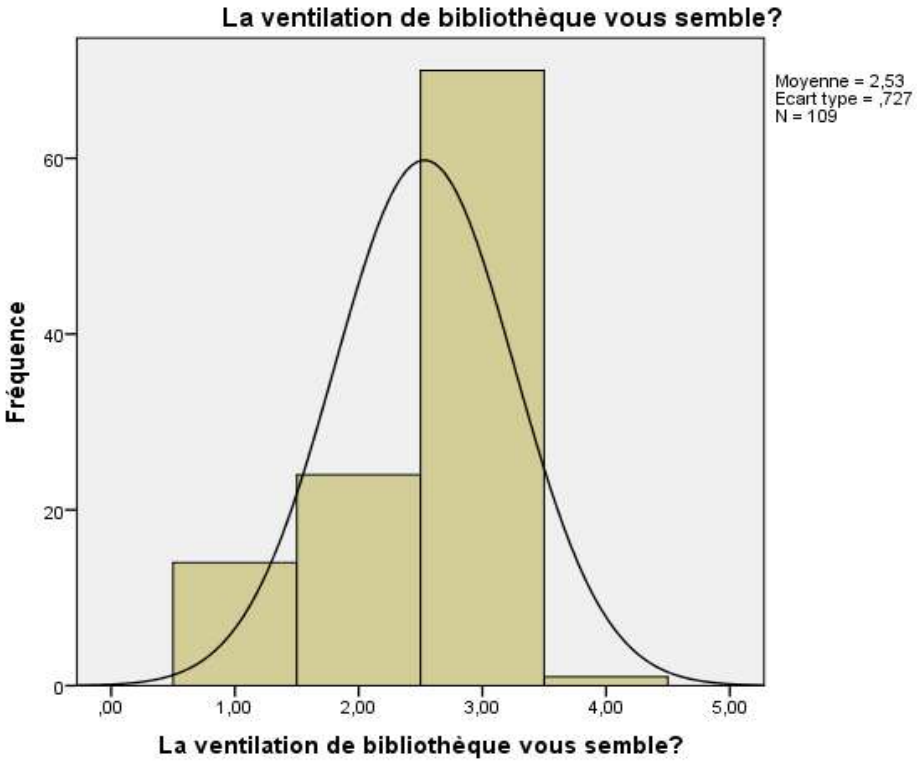


Figure 25 : La réponse la plus interactive (trop importante)

IV.4.14 Question 14

Tableau 47 : les réponses à la 14éme question

Vous vous sentez bien quand l'humidité est à l'intérieur de la bibliothèque…. ?		
	Fréquence	Pourcentage
très sec	4	3,6
Sec	12	10,9
légèrement sec	22	20,0
ni sec ni humide	49	44,5
légèrement humide	2	1,8
humide	18	16,4
très humide	3	2,7
Total	110	100,0

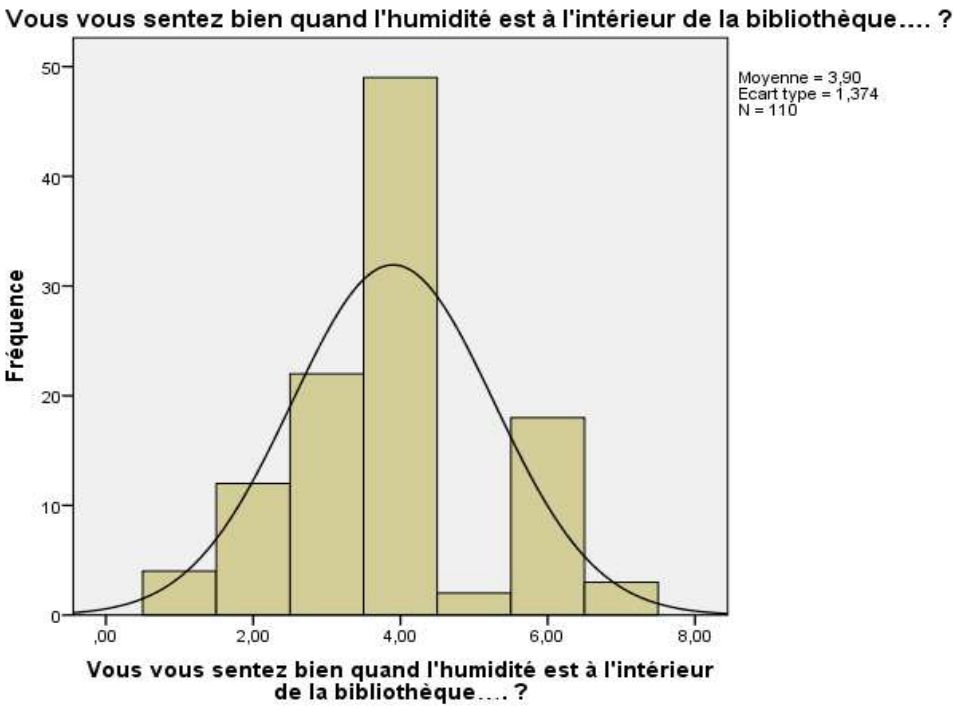


Figure 26 **:** La réponse la plus interactive (ni sec ni humide)

IV.4.15 Question 15

Tableau 48 : les réponses à la 15éme question

L'air intérieur du bibliothèque vous semble?		
	Fréquence	Pourcentage
humide	17	15,5
confortable	55	50
sec	38	34,5
Total	110	100,0

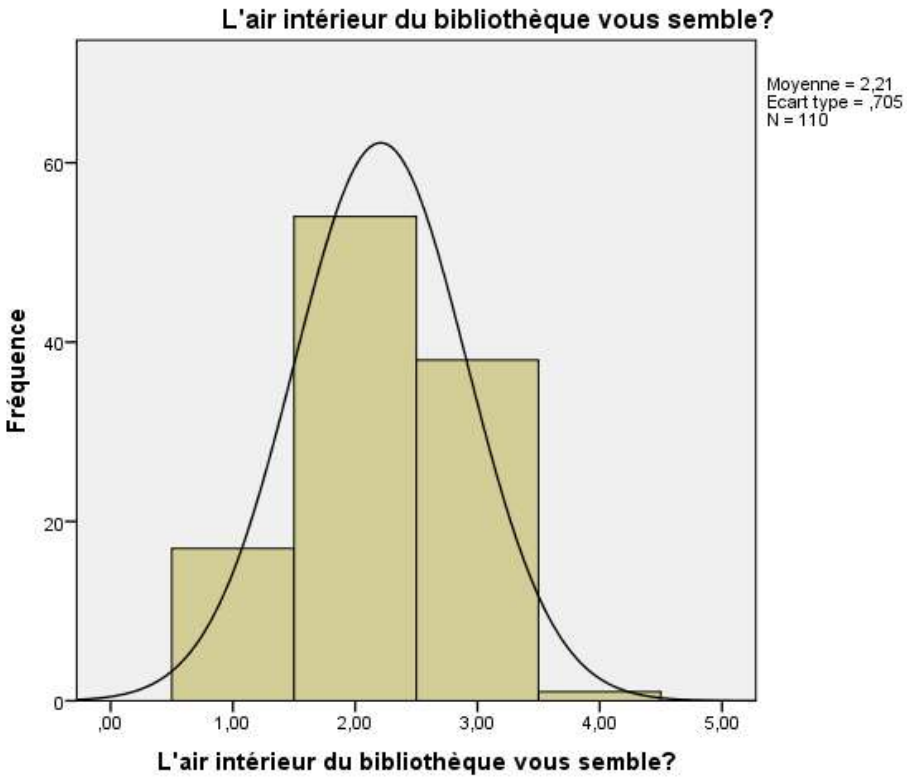


Figure 27 : La réponse la plus interactive (confortable)

IV.4.16 Question 16

Tableau 49 : les réponses à la 16éme question

Comment vous jugez cela ?		
	Fréquence	Pourcentage
acceptable	38	34,5
légèrement inacceptable	29	26,4
inacceptable	34	30,9
très inacceptable	9	8,2
Total	110	100,0

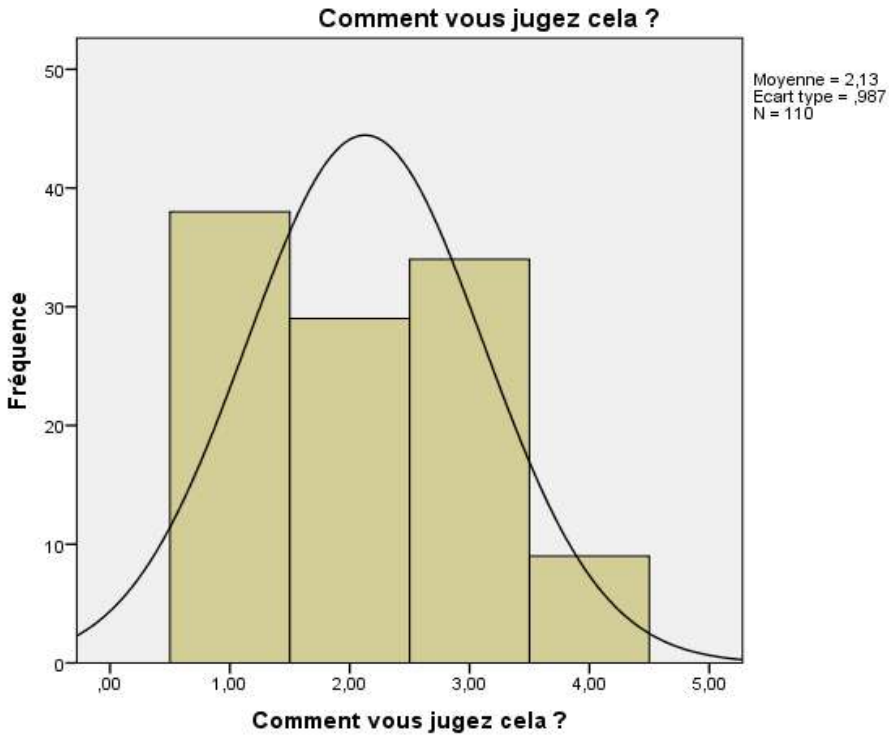


Figure 28 : La réponse la plus interactive (acceptable)

IV.4.17 Question 17

Tableau 50 : les réponses à la 17^{éme} question

Etes-vous globalement satisfait(e) du confort thermique dans la bibliothèque ?		
	Fréquence	Pourcentage
Oui	66	60,0
Non	44	40,0
Total	110	100,0

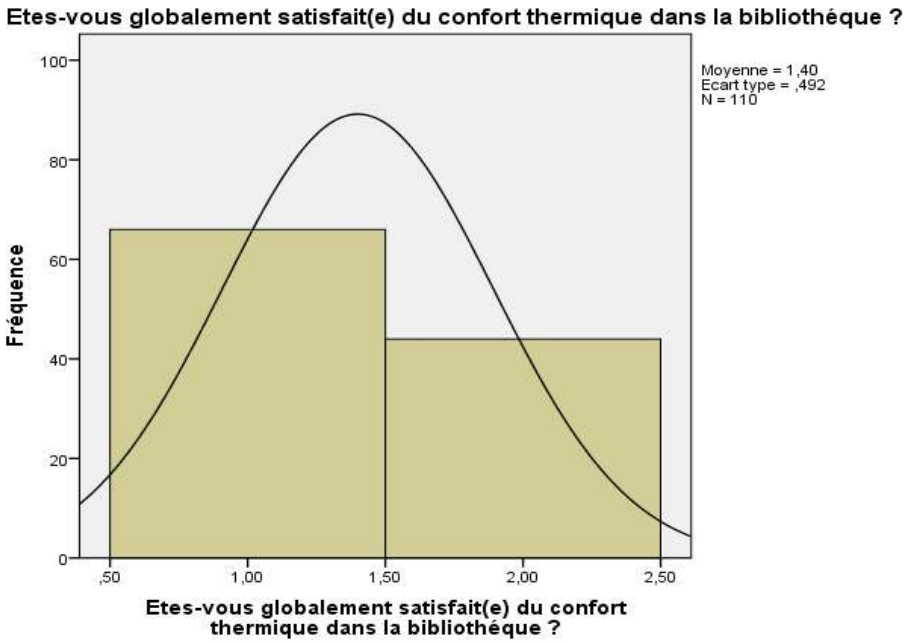


Figure 29 : La réponse la plus interactive (oui)

Tableau 51 : Maximum et moyenne (âge, poids et taille)

	N	Maximum	Moyenne
Age de personne	110	34,00	21,9091
Poids de personne	110	73,00	28,6707
Taille de personne	110	1,95	35,2167
N valide (liste)	110		

IV.4.18 Conclusion

L'analyse du questionnaire montre que, les paramètres du confort thermique peuvent être identifiés à l'aide de la méthode statistique. Le questionnaire en question a été préparé et distribué aux étudiants dans la bibliothèque de la faculté de technologie de l'université de Médéa. Pour connaître leurs différents avis sur le concept de confort thermique et les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

Les Questions	La réponse dominante
Comment qualifiez-vous votre niveau de sensibilité à la chaleur?	sensibilité normale
Comment qualifiez-vous votre niveau de sensibilité au froid?	sensibilité normale
Précisez quelle est pour vous l'importance d'avoir une température confortable dans votre espace de travail?	vous travaillez mieux
Comment aimez-vous être la température de l'eau chaude ?	Bonne
Quel type de ventilation préférez-vous ?	naturelle
Comment vous sentez-vous maintenant	chaud
Trouvez-vous cela…?	acceptable
A Partir de quelle température intérieure juger –vous nécessaire de climatiser la bibliothèque en été. (…… °C)	18 C°
Quel est le niveau de température de la bibliothèque en été ?	chaud
Quel est le niveau de température de la bibliothèque en hiver?	chaud
En été, comment jugez-vous le confort thermique dan bibliothèque ?	neutre
En hiver, comment jugez-vous le confort thermique dans bibliothèque?	neutre
La ventilation de bibliothèque vous semble?	Trop importante
Vous vous sentez bien quand l'humidité est à l'intérieur de la bibliothèque…. ?	ni sec ni humide
L'air intérieur du bibliothèque vous semble?	confortable
Comment vous jugez cela ?	acceptable
Etes-vous globalement satisfait(e) du confort thermique dans la bibliothèque ?	Oui

Conclusion générale

Dans les années 1970, face à une augmentation significative de la population et de la croissance économique, la nécessité de construire rapidement des bâtiments pour tous les usages a entraîné une perte d'équilibre entre l'homme et sa patrie. Les résultats se reflètent dans la construction de bâtiments uniformes, inadaptés, énergivores et peu pratiques. Alors que les défis énergétiques deviennent une priorité, il est important non seulement de repenser la façon dont nous les construisons, mais aussi de fournir un confort thermique aux personnes dans ces bâtiments [25].

Le confort thermique de l'individu dépend en particulier de son habillement et de son activité métabolique. Ceci lui permet de s'adapter à son environnement. L'environnement intérieur doit aussi être adapté aux besoins des occupants, donc à leur habillement et leur activité. Pour cela, il faut assurer une température de l'air et des températures des surfaces environnantes agréables. L'indicateur principal est la température opérative, moyenne pondérée de la température de l'air et des surfaces entourant l'occupant. La vitesse de l'air et son degré de turbulence, ainsi que les gradients de température ont aussi un effet.

Il faut noter que les exigences de confort thermique ne sont pas les mêmes dans les bâtiments complètement conditionnés et dans les bâtiments à ventilation naturelle. Dans ces derniers, les occupants s'adaptent, et tolèrent de plus grandes variations de température que dans les premiers

.

Bibliographie

[1] PARENT, Thiébaut. Etude du confort ressenti dans espaces intérieurs et extérieures. Centre d'études de formations génie climatique équipement technique du bâtiment, AOUT 2012.

[2] MAZARI, Mohammed. Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public Cas du département d'Architecture de Tamda (Tizi-Ouzou). Université Mouloud Mammeri. Tizi Ouzou, 2012.

[3] SANTAMOURIS, Confort thermique adaptatif et ventilation. Université d'Athènes, Gece 2006.

[4] RAIS, Ismahan. Etude du confort thermique d'un construction pedagogique cas des anphie de l'ex centre université de Tébessa. Université Larbi Tébessi – Tébessa, 2016/2017.

[5] REBZANI, Brahim. Document Technique Régimentaire (D.T.R C 3-4). Centre nationale d'études intégrées du bâtiment, 2005.

[6] BENHALILOU, Karima. Impact de la végétation grimpante sur le confort hygrothermique estival du bâtiment cas du climat semi aride. Université mentouri Constantine, 2008.

[7] Evaluation des conductivités matériaux consistants des murs végétalisés. Laurent Libessart, HEI. Sébastien - Gavory, Groupe ISA – ITIAPE.

[8] DJEDJIG, Rabah. Impacts des enveloppes végétales à l'interface bâtiment microclimat urbain Université de La Rochelle, 2013.

[9] CHABANE CHAOUCHE, Koceila. Mlle CHIBOUB, Lylia. Amélioration du confort thermique par la résolution des ponts thermiques dans l'habitat individuel Cas d'une maison à Bouira. Université Abderrahmane mira – BEJAIA, 2016 – 2017.

[10] JEDIDI, Malek. BENJEDDOU, Omrane. Athermique du bâtiment du confort thermique au choix des équipements de chauffage et de climatisation. Dunod, 5 rue Laromiguière, 75005 Paris, 2016.

[11] Condition de confort et de logement sain Claude-Alain roulet prof.TIT EPFL, Mai 2008.

[12] www.energieplus-lesite.be

[13] CANDAS, Victor. Confort thermique, 2008.

[14]CORIENNE, Martinet. MEYER, Jean-Pierre. Travail a la chaleur et confort thermique. NST 184, décembre 1999.

[15] Dr R.Cantin, B. Moujalled, Dr HDR G. Guarracino. Complexité du confort thermique dans les bâtiments, 2005.

[16] GHANEM, Foudil. TARIKET, Yacine. SELLIK, Khadidja. SLIMANI Affaf. Evaluation du confort thermique dans l'habitat colonial à Alger Cas d'étude : Immeuble de rapport à cour. Université Abderrahmane MIRA –Bejaia, 2016 / 2017.

[17] KOUCHADE, Clément. ANDRE, Philippe. AWANOU, Cossi Norbert. Le confort thermique des bâtiments en région tropicale : Application du modèle de FANGER au cas des laboratoires de l'université d'Abomey Calavi (COTONOU-BENIN).

[18] DEHMOUS, M'hand. Confort thermique dans les constructions en béton préfabriqué : cas de la faculté des sciences médicales : Université de Tizi-Ouzou, 2016.

[19]ftp://ip20017719.eng.ufjf.br

[20] BENLATRECHE, Toufik. Effets thermo-radiatifs et caractérisation micro climatique des Cours intérieures dans les édifices publics. Université mentouri. Constantine, 2005-2006.

[21] BELLIFA, Imane. Approche Multi-Agent pour la reconnaissance de Diabète. niversité AbouBakr Belkaid Tlemcen , 2010-2011.

[22] Questionnaire relatif au confort thermique de la résidence.

[23] LOPEZ, maria. Dais aitrise des ambiances 3 thermique, 2012.

[24] MOUJALLED, Bassam. Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés L'Institut des Sciences Appliquées de Lyon, 2007.

[25] BATIER, Cécile. Confort thermique et énergie dans l'habitat social en milieu méditerranéen d'un modèle comportemental de l'occupant vers des stratégies architecturales. Université de Montpellier, 2016.

[26] commonweb.unifr.ch/artsdean/pub/gestens/f/.../43221_112438.pdf

[27] https://www.coursehero.com

[28] BERKOUK, Djihed. Évaluation du confort thermique et lumineux dans le logement collectif: Étude comparative entre le social et le promotionnel, dans la ville de Biskra. Université Mohamed Khider – Biskra, 2017.

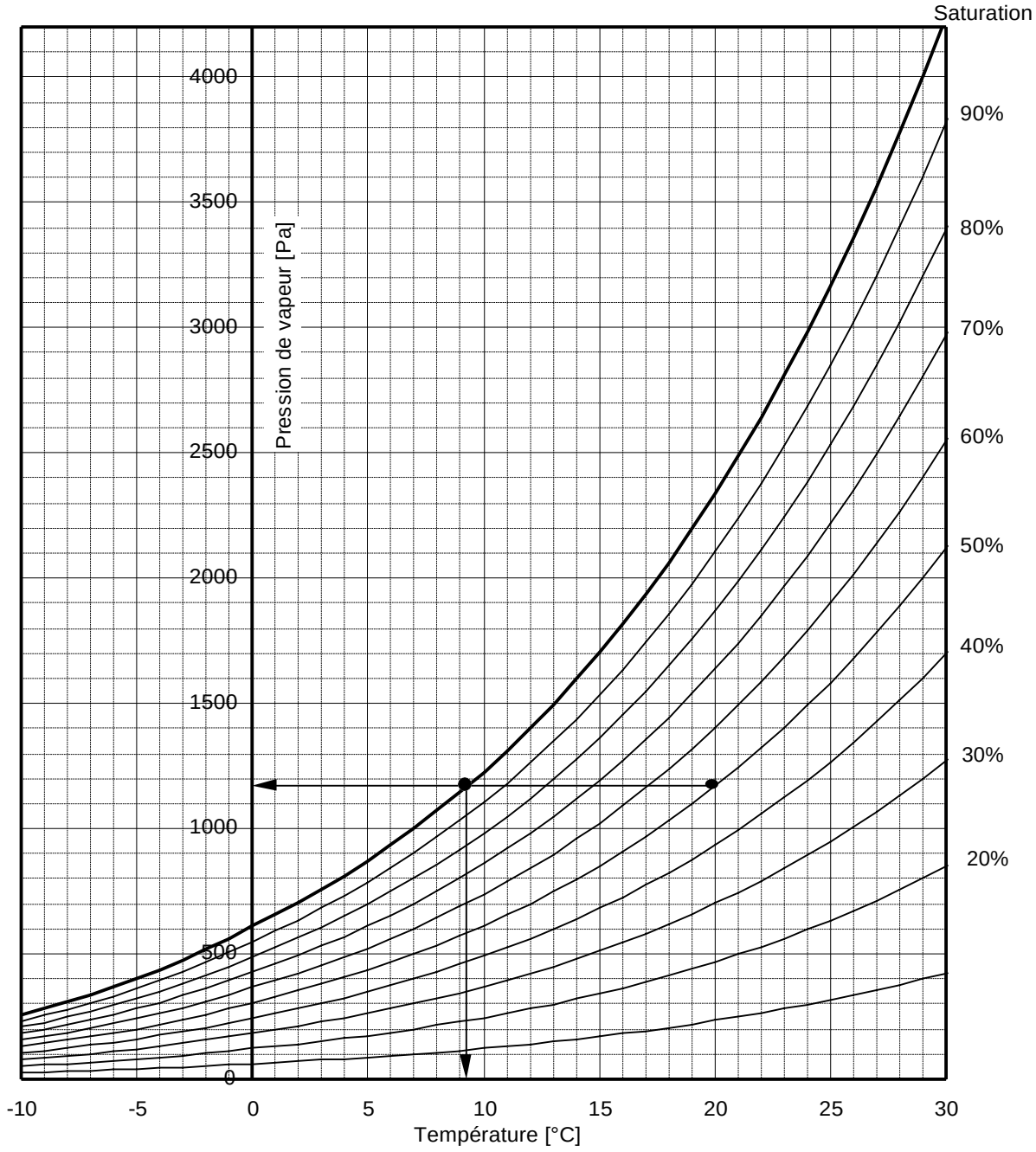
[29] BENMEHDI, Rachid. Conception et régulation des systèmes fermés de distribution et de circulation de chauffage/climatisation. Université Aboubekr Belkaide Tlemcen, 2012 – 2013.

[30] MADI, Kaboré. Enjeux de la simulation pour l'étude des performances énergétiques des bâtiments en Afrique sub-saharienne. L'Université Grenoble Alpes, 2015.

[31] personales.upv.es

ANNEXE I:

Diagramme de Carrier



Exemple: L'air à 20°C et 50% d'humidité relative a une pression de vapeur d'eau de 1170 Pa environ, son point de rosée est à environ 9.3° [18]

La formule mathématique de diagramme carrier son [19]:

$$P_{sat} = 1000\left(\frac{H_R}{100}\right)\exp\left(16.6536 - \frac{4030.183}{T + 235}\right)$$

ANNEXE II:

Questionnaire du confort thermique :

1 er partie : INFORMATIONS PERSONNELS.

Dans le cadre de la préparation de mémoire de fin d'études en vue d'obtention de diplôme de master en génie civil, spécialité équipement d'habitat, nous avons l'honneur de vous demander de bien vouloir nous aider en acceptant de répondre aux questions ci-jointes. Votre précieuse collaboration nous permettra de connaitre votre opinion. Vos réponses seront anonymes, pour une meilleure et libre expression. Les questions sont divisées en trois étapes, la première étape concerne les informations personnelles, tandis que dans la deuxième étape, des questions sur le concept général de confort thermique avec une perspective personnelle, la dernière étape concerne le confort thermique a l'intérieure de la bibliothèque de faculté technologie de l'université Yahia farés de Médéa. En fin, nous vous remercions de votre aide, de votre patience et collaboration [20], [21], [22] et [23], [24].

Age : ans. Poids : Kg. Taille : m. Sexe : M ☐ F ☐

2 éme partie : INFORMATIONS GENERALE.

1/Comment qualifiez-vous votre niveau de sensibilité à la chaleur?

Extrêmement sensible ☐ *plutôt sensible* ☐ *sensibilité normale* ☐ *peu sensible* ☐

2/Comment qualifiez-vous votre niveau de sensibilité au froid?

Extrêmement sensible ☐ *plutôt sensible* ☐ *sensibilité normale* ☐ *peu sensible* ☐

3/Précisez quelle est pour vous l'importance d'avoir une température confortable dans votre espace de travail.

vous concentrez mieux ☐ *Vous travaillez mieux* ☐ *Votre humeur est meilleure* ☐ *vous êtes moins fatigue* ☐

autres (préciser)……

4 /Comment aimez-vous être la température de l'eau chaude ?

Fraiche ☐ *Tiède* ☐ *Bonne* ☐ *Chaud* ☐ *Trop chaud* ☐

Quel type de ventilation préférez-vous ?

Naturelle ☐ *Mécanique* ☐

3éme partie: INFORMATION DE CONFORT THERMIQUE « bibliothèque de faculté de technologie »

5 /Comment vous sentez-vous maintenant

Froid ☐ *légèrement froid* ☐ ni chaud ni froid ☐ légèrement chaud ☐ chaud ☐

6/Trouvez-vous cela…?

Très acceptable ☐ *Acceptable* ☐ *Neutre* ☐ *Inacceptable* ☐ *Très inacceptable* ☐

7 /Quel est le niveau de température de la bibliothèque en été ?

Très chaud ☐ *chaud* ☐ *légèrement chaud* ☐ *ni chaux ni froid* ☐

Légèrement froid ☐ *Froid* ☐ *tré froid* ☐

8/A Partir de quelle température intérieure juger –vous nécessaire de climatiser la bibliothèque en été. (…… °C)

9/Quel est le niveau de température de la bibliothèque en hiver?

très froid ☐ *Froid* ☐ *ni chaux ni froid* ☐ *chaux* ☐ *trop chaux* ☐

10/ été, comment jugez-vous le confort thermique dans bibliothèque ?

Très acceptable ☐ *Acceptable* ☐ *Neutre* ☐ *Inacceptable* ☐ *Très inacceptable* ☐

11/En hiver, comment jugez-vous le confort thermique dans bibliothèque?

Très acceptable ☐ *Acceptable* ☐ *Neutre* ☐ *Inacceptable* ☐ *Très inacceptable* ☐

12/La ventilation de bibliothèque vous semble:

Insuffisante ☐ *adaptée* ☐ *Trop importante* ☐

13/Décrivez votre sensation de l'humidité de l'air en cette bibliothèque?

Très sec ☐ *sec* ☐ *Légèrement sec* ☐ *Ni sec ni humide* ☐

légèrement humide ☐ *Humide* ☐ *Très humide* ☐

14/L'air intérieur du bibliothèque vous semble :

Trop humide ☐ *confortable* ☐ *Trop sec* ☐

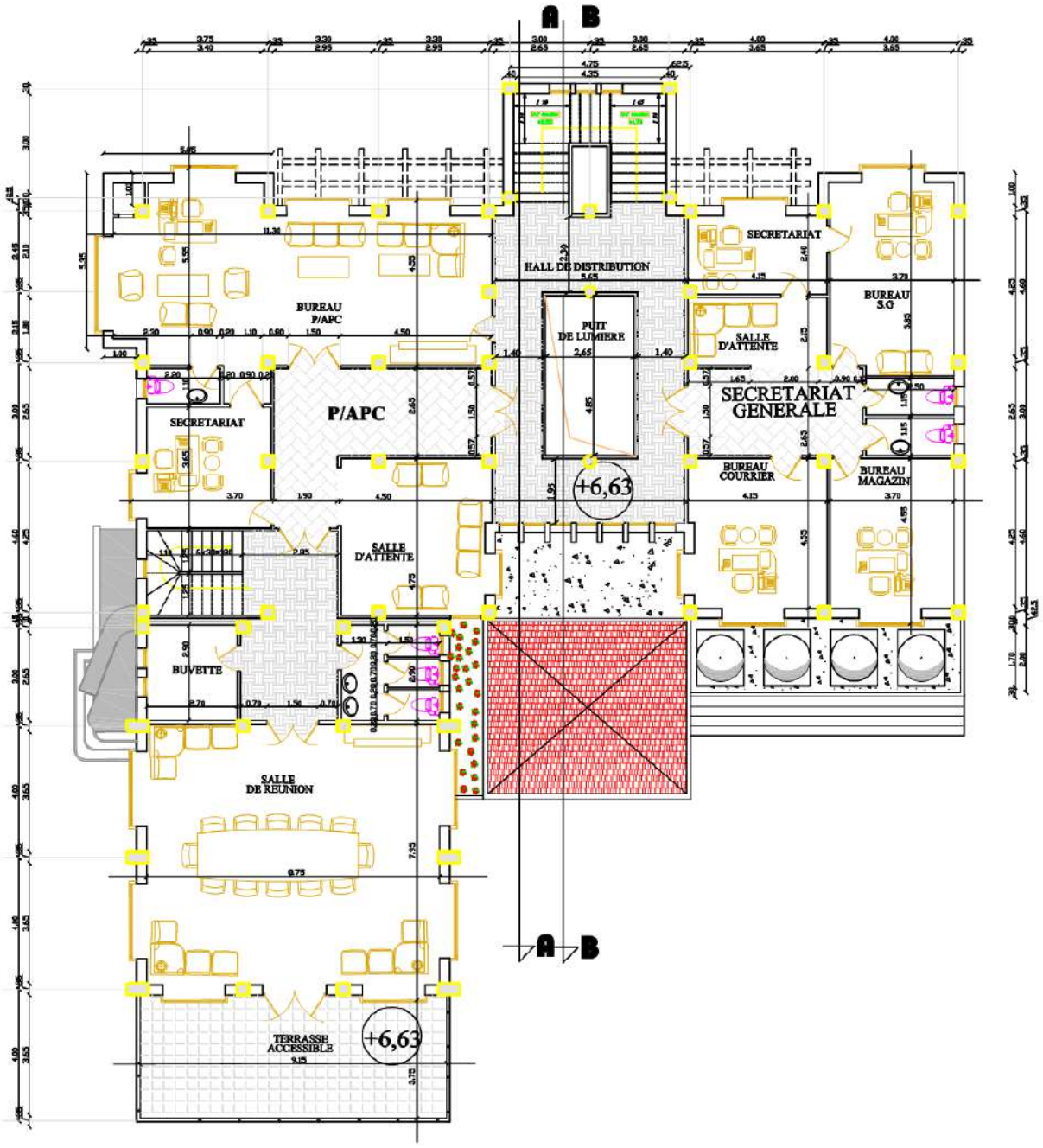
15/Comment vous jugez cela ?

Acceptable ☐ *Légèrement inacceptable* ☐ *Inacceptable* ☐ *Très inacceptable* ☐

16/Etes-vous globalement satisfait(e) du confort thermique ?

Oui ☐ *Non* ☐

Plan R+2 ECH 1/100 :



06 ***VUE EN PLAN R+2 ECH 1/100***

Prenez par exemple la salle de réunion SR à niveau 2 éme étage :

